

**ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO
DIFERENTES USOS Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL RECURSO
HÍDRICO EN LA PARTE MEDIA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LILI**

JENNIFER TAPIERO MORALES



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
SANTIAGO DE CALI
2015**

**ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO
DIFERENTES USOS Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL RECURSO
HÍDRICO EN LA PARTE MEDIA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LILI**

JENNIFER TAPIERO MORALES

Trabajo de tesis, para optar el título de INGENIERA AGRICOLA

Directora: DIANA MARÍA DELGADO M.Sc.

Co-director: NORBERTO URRUTIA COBO, Esp., M.Sc, Ph.D



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

SANTIAGO DE CALI

2015

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Mayo 30 de 2015

A Dios, quien puso en mi camino
ésta oportunidad y quien me concedió
la sabiduría y la perseverancia suficiente
para afrontarla y aprovecharla.

A mis padres quienes son mi mayor
tesoro y orgullo, pues con su sacrificio,
tenacidad y amor son mi ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios porque sin su presencia en mi vida éste sueño no hubiese sido realidad, pues fue mi luz, mi guía y mi fortaleza durante éste proceso.

Agradezco a mis padres y a mi hermano quienes siempre creyeron en mí y me lo demostraron con su apoyo, cariño y no me permitieron desfallecer; por el contrario me brindaron su compañía y las herramientas suficientes para salir adelante.

A mi novio, quien se convirtió en un aliado incondicional ofreciéndome su mano y quien además con su amor le dio un matiz diferente a las situaciones adversas.

A mis profesores por su asesoría, acompañamiento y respaldo prestado durante el desarrollo del mismo.

CONTENIDO

PÁG

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	OBJETIVOS	4
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3	JUSTIFICACIÓN.....	5
4	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
4.1	LA CUENCA HIDROGRÁFICA	7
4.2	CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	8
4.2.1	Biofísicas.....	9
4.2.1.1	Área	9
4.2.1.2	Forma	10
4.2.1.3	Red de drenaje.....	10
4.2.1.4	Geología y suelos.....	11
4.2.1.5	Pendiente.....	12
4.2.1.6	Elevación media.....	12
4.2.1.7	Hidrología.....	12
4.2.1.8	Climatología.....	13
4.2.1.9	Biodiversidad	13
4.2.2	Aspectos sociales y económicos	14
4.2.2.1	Demografía	14
4.2.2.2	Actividades productivas.....	14
4.2.2.3	Entes y autoridades territoriales.....	15
4.3	PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE CUENCA HIDROGRÁFICA (POMCH)	15
4.4	DEGRADACIÓN DE SUELOS	17

4.4.1	Tipos de degradación de suelos	17
4.4.1.1	Erosión hídrica	18
4.4.1.2	Erosión eólica.....	18
4.4.1.3	Exceso de sales.....	18
4.4.1.4	Degradación química	19
4.4.1.5	Degradación física.....	19
4.4.1.6	Degradación biológica	19
4.4.2	Factores antrópicos.....	21
4.5	OBRAS DE BIOINGENIERÍA	23
4.5.1	Sistemas de drenaje mediante filtros vivos en espina de pescado	24
4.5.2	Trinchos vivos escalonados con o sin vertedero.....	24
4.5.3	Terrazas vivas.....	24
4.5.4	Disipadores de energía y escalinatas	25
4.5.5	Manejo técnico de carreteras y corredores ribereños	25
4.6	CALIDAD DEL AGUA	25
4.6.1	Porcentaje de Oxígeno disuelto (%O).....	26
4.6.2	Conductividad (CE)	26
4.6.3	Temperatura	26
4.6.4	pH.....	27
4.6.5	Sólidos y residuos	27
4.7	LA MICROCUENCA DEL RÍO LILI.....	28
4.7.1	Zonas de vida.....	29
4.7.2	Suelos.....	29
4.7.2.1	Uso del suelo.....	30
4.7.3	Precipitación y temperatura	31
4.7.4	Recurso agua	31
4.7.4.1	Índice de Calidad de Agua del Río Lili	32
5	ESTADO DEL ARTE.....	34
6	MATERIALES Y MÉTODOS	45
6.1	FASE 1. RECOPIACIÓN DE DATOS	48
6.2	FASE 2. VERIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN CAMPO	48

6.3	FASE 3. CARACTERIZACIÓN DE SUELO	49
6.3.1	Análisis Físicos del suelo	54
6.4	FASE 4. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA.....	58
6.5	FASE 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
7.1	PROPIEDADES FÍSICAS E HIDRODINÁMICAS DE LOS SUELOS BAJO DIFERENTES USOS.....	62
7.2	ANÁLISIS FÍSICO DE CALIDAD DE AGUA	72
7.3	RELACIÓN DEL GRADO DE EROSIÓN DEL SUELO CON LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LILI.....	77
8	CONCLUSIONES.....	82
9	RECOMENDACIONES.....	84
10	BIBLIOGRAFÍA.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

PÁG

Tabla 1. Intensidad de la lluvia y evaluación.	20
Tabla 2. Usos de suelo de la cuenca	30
Tabla 3. Datos de precipitación y temperatura de toda la cuenca	31
Tabla 4. Índices de calidad de agua del Río Lili	32
Tabla 5. Relación entre el forraje y el contenido de materia orgánica y la tasa de infiltración por hora.....	36
Tabla 6. Estimación potencial de pérdida de suelo por tipo de cobertura.....	37
Tabla 7. Propuesta preliminar de indicadores para instalar una red de monitoreo de estado de los recursos naturales (RENARE-MGAP).....	39
Tabla 8. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para la subunidad Pendientes, Unidad Alto Estructural Rodeo Viejo - La Morocha, Cuenca La Colacha, Córdoba.	41
Tabla 9. Clases de Calidad de Suelos.....	42
Tabla 10 .Indicadores e índice de calidad del suelo para la subunidad Pendientes, Unidad Alto Estructural Rodeo Viejo - La Morocha, Cuenca La Colacha, Córdoba.....	42
Tabla 11. Fases de la metodología	47
Tabla 12. Parámetros a medir en el proyecto	53
Tabla 13. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, con base a la textura del suelo.....	55
Tabla 14. Determinación del contenido de humedad del suelo.....	56
Tabla 15. Clasificación de un suelo según su porcentaje de porosidad total.....	57
Tabla 16. Variables de suelo medidas en la microcuenca del Río Lili	62
Tabla 17. Estadísticos descriptivos para el bosque.....	64
Tabla 18. Estadísticos descriptivos del suelo para Agrícola 1	65
Tabla 19. Estadísticos descriptivos del suelo para minería.....	66
Tabla 20. Estadísticos descriptivos del suelo para guadua.....	66
Tabla 21. Estadísticos descriptivos del suelo para Agrícola 2	67
Tabla 22. Coeficientes de variación para cada uso de suelo	68

Tabla 23. Variables de agua medidas para el río Lili.....	72
Tabla 25. Medidas de resumen para los sólidos volátiles	75
Tabla 26. Medidas de resumen para los Sólidos Totales	76
Tabla 27. Medidas de resumen para los Sólidos Suspendidos	77
Tabla 28. Algunos indicadores de calidad del suelo, según sus propiedades y algunas variables de medición.	78
Tabla 29. Clasificación de la calidad del suelo y del agua para las zonas de estudio..	79

INDICE DE FIGURAS

PÁG

Figura 1. Cuenca hidrográfica	8
Figura 2. Localización de la cuenca del río Lili y delimitación de las zonas productora y consumidora	28
Figura 3. Índice de Calidad de Agua para el Río Lili.....	32
Figura 4. Precipitación pluvial, escurrimiento superficial e infiltración por tipo de cobertura de la microcuenca del río Salado, Bosque La Primavera	37
Figura 5. Localización del corregimiento La Buitrera a nivel de departamento	45
Figura 6. Localización del corregimiento La Buitrera a nivel de municipio.....	46
Figura 7. Chorrera del Río Lili	49
Figura 8. Entrada a la finca con uso agrícola uno	50
Figura 9. Cultivos de la finca	50
Figura 10. Zona de minería.....	51
Figura 11. Zona con guadua.....	51
Figura 12. Zona con pasto elefante	52
Figura 13. Mapa de usos de suelo seleccionados como zona de estudio	52
Figura 14. Triángulo de las clases texturales del suelo	54
Figura 15. Mapa de textura para las zonas de estudio	63
Figura 16. Mapa de Demanda Química	74

INDICE DE ANEXOS

PÁG

Anexo 1. Curva de calibración con Ftalato de Potasio para hallar la Demanda Química de Oxígeno	94
Anexo 2. Criterios para evaluar la calidad de aguas para riegos (1)	95
Anexo 3. Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano	96
Anexo 4. Resumen del estado de la calidad del suelo y del agua según los valores permitidos.	97
Anexo 5. Los valores máximos permisibles para los parámetros adicionales de calidad del agua	98

RESUMEN

Los suelos y las aguas son dos componentes de los ecosistemas cuya conservación debe abordarse de manera conjunta. Diferentes propiedades del suelo controlan su capacidad de almacenar y transmitir el agua hacia zonas más profundas. Es preocupante la amenaza que presenta el recurso suelo a causa de manejos y actuaciones antrópicas, que afectan directamente la calidad de las aguas tanto subterráneas como superficiales, trasladando o creando nuevos problemas en otros compartimentos ambientales.

El presente documento contiene un análisis sobre el estado de las propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo en la microcuenca del Río Lili, medidas en diferentes usos de suelo categorizados como: bosque, agrícola 1, minería, guadua y agrícola 2; que permite conocer el impacto que tiene cada actividad ejercida sobre estos. Así mismo, se midieron propiedades del agua que dan indicios de su calidad, y que a su vez se relacionan con el estado de los suelos. De lo cual, se obtuvo que la zona presenta suelos con densidades aparentes aceptables, humedades gravimétricas medias, porosidades totales excelentes y excesivas, poca estructura; sumado a una calidad de agua deficiente lo que nos da a concluir que este patrimonio de la comunidad se encuentra amenazado por múltiples factores que nos permiten categorizarla como un área en vía de extinción.

Palabras claves: Propiedades físicas del suelo, microcuenca, calidad de agua.

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de degradación del suelo ocurre fundamentalmente a través de cambios en sus propiedades y estas a su vez influyen en la disposición del mismo para dejar pasar o transferir contaminantes hacia los cuerpos de agua. El uso de la tierra también afecta las características físicas de la misma que influyen sobre el flujo del agua y puede alterar sus características químicas. Por tanto puede afirmarse que una decisión en el uso de la tierra, es una decisión sobre el uso del agua.

La evaluación del impacto que podría ocasionar un sistema de manejo del suelo sobre el agua en particular y sobre el ambiente en general tiene relación además con el efecto de los cambios climáticos globales sobre el suelo a través del conocimiento de algunas propiedades básicas de ellos expresadas en forma cuantitativa y cuya medida sea repetitiva en diversos usos del mismo.

Los principales procesos de degradación del suelo incluyen a los de índole física, química y biológica. En particular los primeros conducen y son causados por la pérdida de la agregación, encostramiento, compactación, anaerobiosis, incremento del escurrimiento y erosión del suelo.

La erosión del suelo y la sedimentación provoca el secuestro del carbono en los sitios de deposición y en los ecosistemas acuáticos, y a su vez los suelos erosionados. Como quiera que cualquier estrategia en aras de la recuperación de suelos degradados debe tomar en cuenta el incremento de la calidad del suelo, uno de cuyos componentes importantes es la calidad física, es de suma importancia el conocer y cuantificar los parámetros que determinan esta calidad, de ahí también la importancia de contar en nuestras condiciones con una base de datos de estas propiedades.

Por lo anterior, el presente proyecto de investigación buscó conocer la manera en que inciden los problemas generados por los cambios en el uso del suelo en sus propiedades físicas e hidrodinámicas; y así mismo cómo alteran la capacidad de almacenamiento y regulación del recurso hídrico en el territorio. Se pretendió mostrar la estrecha relación entre el grado de erosión y la calidad del agua, teniendo en cuenta que a menor erosión, se presenta menor salida de sedimentos del predio con el agua de escurrimiento, lo que reduce la sedimentación en cauces y cuerpos de aguas superficiales (Clérici & García, 2001).

Teniendo en cuenta que La Buitrera es un corregimiento que ha sido y sigue siendo vulnerado por la alta influencia de la actividad minera como medio de sustento para la población, y que la poca agricultura que se practica se hace de manera empírica y sobre suelos la mayor parte de ellos en zonas de ladera, se está causando un gran impacto a la región; problemática de la cual se abordó sólo una pequeña parte, al igual de la importante influencia del Rio Lili como principal captador de agua y receptor de contaminantes por el uso indiscriminado de los suelos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la alteración en las propiedades físicas del suelo bajo diferentes usos y su relación con la calidad del recurso hídrico en la vereda El Rosario del corregimiento de La Buitrera en la parte media de la microcuenca del Río Lili.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas e hidrodinámicas de los suelos bajo diferentes usos en la vereda El Rosario del corregimiento de La Buitrera en la parte media de la microcuenca del Río Lili.
- Realizar el análisis físico de calidad de agua de la parte media del río Lili, con el fin de examinar el aporte de sedimentos a lo largo del trayecto.
- Relacionar el grado de alteración de las propiedades físicas del suelo en cada uso con la calidad del agua de las fuentes hídricas superficiales evaluadas.

3 JUSTIFICACIÓN

Las personas que han conocido la microcuenca hace unos 50 años atrás consideran que la actividad pesquera, la caza, la recreación y la toma de agua con interés doméstico se han venido reduciendo como consecuencia de la actividad minera empresarial y la pérdida del recurso bosque, sin la prevención ecológica que evite su desaparición, pues la comunidad de La Buitrera no puede abastecerse de las aguas del río Lili por estar altamente contaminadas de sedimentos, caparrosa y otros contaminantes. Esto ha generado conflicto por el uso del agua entre las comunidades de Villacarmelo, La Buitrera y la Comuna 18 de Cali, por el proyecto trasvase de la cuenca principal para suplir 22.4 litros por segundo (Gonzales, 2005).

Igualmente el grado de erosión presente en el área de estudio, es decir, en el Corregimiento La Buitrera cada vez es más severo en las zonas aledañas al río, debido a la descarga de contaminantes líquidos y escombros provenientes de la antigua explotación de carbón y las aguas servidas de algunas parcelaciones del sector La Buitrera (DAGMA, 1999).

Según el DAGMA (citado por Angel, 2008), en la parte alta, sobre la margen derecha de la cuenca comprendida desde su nacimiento hasta la Buitrera, se observa erosión severa por los efectos de la explotación minera que se da tanto de manera artesanal como por medianas empresas que han venido desarrollando dicha actividad sin ningún criterio de conservación. Así mismo, presenta otros factores que inciden en su funcionamiento y deterioro como (1) la tala de vegetación por efecto de la colonización que deja al descubierto la superficie del suelo y trae como consecuencia el arrastre del mismo por los elementos erosivos, (2) construcciones civiles trazadas empíricamente sin prevención ecológica mínima, generando problemas en el deterioro de los ecosistemas boscosos, (3) incendios por parte de los colonos que quieren

ampliar sus áreas de potreros y cultivos, modificando los suelos y rompiendo la estabilidad hidrológica y biológica, (4) la actividad agropecuaria y el sobrepastoreo que alteran el suelo (ASODES, 1999).

La parte media comprendida entre La Buitrera hasta la carretera Panamericana sufre un alto deterioro por los vertimientos de aguas residuales de las viviendas aledañas a la cuenca, la deforestación que causa el arrastre y el depósito de sedimentos durante las crecientes. Sin embargo, el factor mayor de deterioro de la calidad de sus aguas lo constituye las descargas provenientes de las minas; en este tramo sus aguas se clasifican de calidad regular.

Por su parte en la zona baja cambia totalmente de uso observándose concentración poblacional en sus riberas que generan descargas de aguas residuales, lo que hace clasificar sus aguas en la desembocadura como de mala calidad.

Con lo anteriormente dicho se evidenció que la cuenca presenta un deterioro progresivo de la calidad del suelo, afectando sus funciones hídricas y ecosistémicas, situaciones determinadas principalmente por conflictos en el uso del suelo, que han generado la remoción de la masa forestal, la ampliación de la frontera agrícola y la ubicación de centros urbanos cerca de la ribera de los ríos.

En este contexto, fue necesario evaluar la alteración de las propiedades físicas del suelo bajo cambios en el uso de éste y su relación con la calidad de la fuente hídrica en la microcuenca del río Lili. Los conocimientos técnicos y científicos generados de forma exploratoria en este proyecto pueden constituirse en aportes significativos a los cambios tecnológicos y culturales de la localidad, para emprender estrategias de mitigación y control de los impactos que se generan por los conflictos en el uso del suelo en dicha cuenca, que propendan la sostenibilidad y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas que allí habitan.

4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica (CH) es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red natural con una o varias corrientes superficiales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Diario Oficial, 2002).

También es entendida como una zona geográfica drenada por una corriente de agua. Este concepto se aplica a unidades que van desde una superficie agrícola atravesada por un arroyo (microcuenca) hasta las grandes cuencas fluviales o lacustres (FAO, 2007).

Según la FAO (2007), las cuencas hidrográficas ofrecen numerosos servicios a la sociedad. El suministro mundial de agua dulce para usos doméstico, agrícola e industrial depende mucho de los caudales que se producen y regulan en las cuencas. La agricultura y la seguridad alimentaria dependen en gran medida del agua superficial y los sedimentos, recogidos y transportados por las laderas de las cuencas. Los bosques de las cuencas son una fuente importante de madera y leña. Con frecuencia se asigna un valor recreativo simbólico al paisaje natural y cultural de las cuencas hidrográficas. Y por último, pero no de menor importancia, la vida y los medios de subsistencia de gran parte de la población rural dependen directamente de los recursos naturales de las cuencas.

Desde finales del siglo XIX la tecnología moderna ha permitido realizar enormes obras hidráulicas en sitios accesibles de montaña. Se han construido presas río arriba para generar electricidad y suministrar agua a los usuarios locales y de río abajo. Las cuencas se han convertido, de esta manera, en fuente esencial de

agua, energía y otros recursos naturales para el desarrollo agrícola, industrial y urbano moderno (FAO, 2007).

Teniendo en cuenta que una cuenca hidrográfica es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico-económico-política-biológica y también, en muchas ocasiones, como una unidad socio-económico-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales (Sheng, 1992), está visto que debe ser estudiada de forma integral y sistémica (*ver Figura 1*), para ello se definirán sus diferentes características.

Figura 1. Cuenca hidrográfica



Fuente: Visión Mundial, 2004

4.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

En un territorio delimitado por una cuenca hidrográfica se presentan variaciones en las características biofísicas, sociales, económicas y también legales; en donde estas van a afectar de alguna forma su manejo. Las consideraciones que se hacen aquí, tienen mayor relación a las características de las cuencas hidrográficas de Colombia estas son:

4.2.1 Biofísicas

En estas intervienen las variaciones topográficas, geológicas, tipo y uso del suelo, características de la red de drenaje, hidrología, condiciones climáticas, flora y fauna. En general se adelantan estudios sectorizados o relacionados específicamente con el estudio de una u otra característica, generalmente dirigidos por las autoridades ambientales de la respectiva CH. Para la determinación de las condiciones biofísicas en una CH, se debe recurrir a diferentes técnicas de acuerdo con los requerimientos y los recursos disponibles.

Según Radarsat, (citado por Carvajal et al., 2009) la gestión y el proceso de planificación de CH, se adelanta con base en la representación espacial del territorio o cartografía, la cual es una herramienta tradicional de apoyo a las labores del manejo del territorio o cartografía; hoy en día la cartografía se elabora con el soporte de la informática y gracias al desarrollo de los satélites, la fotografía aérea y las telecomunicaciones.

En el estudio de una CH, se inicia con el conocimiento de la extensión, límites, localización y características biofísicas de la misma. El límite de una CH, con relación a otra se denomina parteaguas o línea de divorcio de aguas, y consiste en una línea imaginaria que separa el territorio donde las aguas de esorrentía confluyen hacia su río principal, que drenan hacia otras CH. Por ello se hace importante conocer el área de la misma.

4.2.1.1 Área

Según (Carvajal et al., 2009), el área representa una característica importante de las CH, puesto que a medida en que se incrementa, en general, mayor y más variados también será cada uno de los aspectos de la misma. El área de la CH, corresponde a la extensión del terreno que encierra el parteaguas de esta; es

decir, el área de drenaje de las corrientes de la cuenca; cada una de estas es formada por las aguas que llegan a ella ya sea por la escorrentía de las aguas lluvias, o por los aportes de los flujos subterráneos, de manera que cada corriente de agua tiene una correspondiente área de drenaje, en donde la sumatoria de las áreas de drenaje de las corrientes de la cuenca, forman el área total de la CH. Con el fin de unificar términos en cuanto a la extensión se refiere, se han definido en función del área de captación o drenaje.

Se denomina CH cuando el área de drenaje es mayor a 300 Km²; se habla de subcuenca cuando el área está entre 20 a 300 Km² en tanto que si ésta es menor a 20 Km² se denominará microcuenca.

4.2.1.2 Forma

La forma de la cuenca es una característica que influye mucho en el tiempo de concentración de la escorrentía hacia el cauce principal, entendiéndose tiempo de concentración; el tiempo que tarda una gota de agua desde la parte más alta a la parte más baja de la CH. Cuanto más redonda sea, más rápido correrán las aguas hacia el lecho del río, y por tanto, el escurrimiento será mayor; en el caso de una cuenca alargada el tiempo de concentración de la escorrentía es mayor pues el agua circula más tiempo a lo largo del cauce principal (Umaña, 2002).

4.2.1.3 Red de drenaje

Es el sistema jerarquizado de cauces, desde los pequeños surcos hasta los ríos, que confluyen unos en otros configurando un colector principal de toda una cuenca. Su función es el transporte de materia y energía en el interior de la cuenca. Desde una perspectiva ecológica es un ejemplo de autoorganización. La morfología de la red, la densidad de drenaje y los órdenes jerárquicos

alcanzados son parámetros fundamentales de estudio que dependen de los caracteres geomorfológicos y bióticos del sistema (Gonzales de Matauco, 2004).

4.2.1.4 Geología y suelos

Según (Carvajal et al., 2009), las formaciones rocosas de la CH, forman el soporte de la misma y es en donde se realizan las interacciones entre las demás componentes. La geología, define las condiciones topográficas, el tipo suelo, el patrón de la red de drenaje; así como los usos potenciales de este sustrato, el cual puede tener vocación para la explotación minera, presencia de fallas geológicas, condiciones de inestabilidad etc.; que a su vez determinan su manejo.

La geología de una CH, tiene un alto grado de afectación en la calidad de las aguas de la misma; puesto que el flujo del agua a través de las diversas formaciones rocosas le dará las características del lecho por el cual fluya. Al igual la erosión de los suelos está ligada al relieve, la lluvia, el viento entre otros; siendo en el país la erosión originada por el agua la de mayor impacto. Las tierras se clasifican también de acuerdo con el grado de erosión que las afecta, por ejemplo: natural, ligera, moderada, severa y muy severa.

El uso potencial del suelo, se refiere al empleo para el cual se recomienda y lo determinan factores como la pendiente, susceptibilidad a la erosión, la profundidad del suelo, entre otras variables. Ejemplos del uso de las tierras son: forestales de protección, protector-productor, cultivos densos, cultivos multiestratos, parque natural, urbana, pastoreo, para recuperación, entre otros. La relación entre el uso potencial del suelo y el uso que presenta en la actualidad, permite determinar el grado de conflicto que hay por el uso de dicho suelo.

4.2.1.5 Pendiente

Según (Umaña, 2002) la pendiente de la cuenca, tiene gran importancia, pues condiciona la velocidad del escurrimiento superficial y en cierto modo predice la erosión que produce en función del uso y manejo que se dé al suelo. Se obtiene considerando los desniveles tanto horizontal como vertical que se pueden observar en el plano normalmente a partir de las curvas de nivel.

4.2.1.6 Elevación media

La elevación media de una cuenca refleja la media ponderada de las alturas sobre el nivel del mar a los que se encuentran los segmentos del área de la cuenca. Más importante que la elevación media, es conocer la variación de la altura con respecto al porcentaje de área mediante una curva llamada curva hipsométrica (Umaña, 2002). Esta curva permite conocer la manera en que se encuentra distribuida la masa en la cuenca, desde la parte más alta hasta la más baja (Strahler, 1952).

4.2.1.7 Hidrología

Según Londoño (2001) la descripción de las características hidrológicas de una cuenca (cómo se distribuye el agua, tipos de fuentes, calidad y cantidad del agua, red de drenaje, etc.), proporciona la información necesaria para su clasificación, de acuerdo con criterios de disponibilidad de agua. El conocimiento de agua disponible en cada punto del territorio de la cuenca tiene interés, no sólo en cuanto que es un factor decisivo en la planificación de las actividades a desarrollar en cada sitio de la cuenca, sino, también, para la asignación de usos complementarios de esta.

El análisis de los recursos hídricos, por su parte, aporta datos sobre la ocurrencia, distribución y disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, de donde se obtienen indicadores que facilitan la propuesta de acciones de regadío o control de inundaciones. Así mismo, se analiza la calidad del agua, los procesos de sedimentación y de degradación de cuencas, y las áreas de potencial hidroenergético.

4.2.1.8 Climatología

Según Ahrens (citado por Carvajal et al., 2009) el clima de una CH, hace referencia al comportamiento predominante en el largo plazo de las diferentes variables meteorológicas: temperatura del aire, presión, humedad, nubosidad, precipitación, visibilidad, vientos. El clima del mismo modo que la hidrología, está afectado por factores astronómicos, geográficos y antrópicos; de igual forma en particular en el trópico, en una misma CH, se pueden presentar diferentes condiciones climáticas y microclimas, las cuales tienen un gran efecto en el comportamiento de las diferentes componentes de la cuenca.

4.2.1.9 Biodiversidad

La gran variedad de formas de vida en el trópico y en particular en Colombia, requieren de un adecuado conocimiento para su manejo acertado. Además, para Domínguez (citado por Carvajal et al., 2009) la megadiversidad colombiana es una gran ventaja, en virtud de los múltiples servicios y beneficios que de ella se pueden derivar, también se convierte en un condicionante clave al momento de tomar decisiones en cuanto al manejo de los recursos naturales de la CH.

4.2.2 Aspectos sociales y económicos

Son los aspectos de mayor importancia al momento de planificar el desarrollo de una CH. Por esto es necesario conocer sus características actuales y su evolución en el tiempo y en toda la CH y su área de influencia. En una CH, se presenta una gran variedad de actividades sociales y económicas, que a su vez van a requerir unos servicios ambientales de la cuenca; en particular en relación con la demanda de agua.

4.2.2.1 Demografía

El análisis de los procesos demográficos busca caracterizar a la CH desde el punto de vista de la estructura de la población y su dinámica en el tiempo de tal forma que permita visualizar escenarios futuros y por tanto contar con elementos de juicio para tomar decisiones¹.

4.2.2.2 Actividades productivas

Las actividades humanas contribuyen a los cambios en el equilibrio dinámico de los cursos de agua. Estas actividades se centran en manipular los cursos de agua para una amplia variedad de propósitos, incluyendo el abastecimiento doméstico e industrial de agua, riego, transporte, hidroenergía, eliminación de desechos, minería, control de inundaciones, recreación, etc. Los aumentos en la población humana y el desarrollo comercial, industrial y residencial crean fuertes demandas sobre los cursos de agua (Londoño, 2001).

¹ Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) Municipio de ABREGO. 2001-2009

4.2.2.3 Entes y autoridades territoriales

Se conciben como el conjunto de organismos relacionados con la administración de la cuenca y su regulación jurídica ambiental. La estructura institucional administrativa ambiental refleja los niveles de coordinación horizontal y verticalmente, principio bajo el cual la cuenca es interpretada; la coordinación vertical hace referencia a que deben existir acciones concurrentes y armónicas entre los distintos niveles que tienen jurisdicción sobre el territorio cuenca; en tanto que la coordinación horizontal se refiere a la concurrencia y armonía de las diferentes políticas sectoriales que se desarrollan en el territorio. En este orden de ideas, la ley define las jurisdicciones y consagra los alcances administrativos de cada institución, en relación con el territorio cuenca (Buitrago, 2013)

Como ya se mencionó anteriormente cada cuenca hidrográfica cuenta con diferentes características biofísicas, económicas y sociales que la convierten en un ente único y complejo; para lo cual es necesaria la incursión de una base para la planificación de su territorio como lo es el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuenca Hidrográfica POMCH.

4.3 PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE CUENCA HIDROGRÁFICA (POMCH)

El objetivo del POMCH es el de planear el desarrollo sostenible de los recursos de la CH, de modo que se mantenga un balance entre el aprovechamiento económico y la conservación de la naturaleza, haciendo especial énfasis en el recurso agua (Carvajal et al., 2009).

Los POMCHs, priman sobre las demás disposiciones legales existentes en lo relacionado con el ordenamiento de dicho territorio, o al menos en Colombia. Por ello cada programa que se adelanta en una CH, tiene unos alcances y propósitos y debe estar contemplado en el POMCH. Para la realización de estos planes de

ordenamiento, se desarrollan las siguientes fases: aprestamiento, diagnóstico, prospectiva, formulación, ejecución, seguimiento y evaluación.

En la fase de aprestamiento es donde se hace un plan de trabajo que incluye, una caracterización de actores, construcción de estrategias de participación y concertación, capacitaciones, entre otros. En la fase diagnóstico se presenta la situación ambiental de la cuenca, de manera que se indiquen los recursos, potencialidades, conflictos y restricciones del territorio. En la fase prospectiva se muestran los escenarios futuros deseados y posibles en la CH. La fase de formulación consta de los proyectos, programas y objetivos para el desarrollo de la CH, basado en las fases previas. En la fase de ejecución, se definen los recursos, técnicos, humanos y financieros requeridos para llevar a cabo los proyectos y metas de desarrollo de la CH. Durante la fase de seguimiento y evaluación se emplean los mecanismos e indicadores, que permitan hacer una evaluación de la ejecución del plan de ordenamiento.

Dentro de la fase de diagnóstico se realizan diferentes estudios en dos categorías, una es la caracterización biofísica de la cuenca en donde se tratan temas como localización, entidades político administrativas, población, clima, balance de precipitación, geología, zonas de vida, estructura de los bosques, suelos y sus usos potenciales y actuales, biodiversidad, calidad del aire, etc. Y la otra es la caracterización socioeconómica que incluye población urbana, economía y usos del suelo, actividades productivas, manejo y disposición de residuos sólidos, distribución predial y fraccionamiento de la propiedad, entre otros.

Pero uno de los estudios más importantes que reúne el POMCH es el de diagnóstico de los procesos de degradación de suelos como la erosión por los diferentes usos y tipos de suelos y su afectación en los ríos y en la disponibilidad hídrica de la cuenca.

4.4 DEGRADACIÓN DE SUELOS

La degradación de suelos es entendida como el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos, lo que conlleva a una rebaja en su capacidad actual y potencial, para producir bienes y servicios; para soportar vida (tanto vegetal como la microflora y la fauna) (UNALMED, 2014).

La degradación de suelos, puede presentarse de manera natural, a través de fenómenos naturales que producen un cambio negativo de las propiedades del suelo; sin embargo, en la actualidad este proceso se ha acelerado a consecuencia de actividades antrópicas como el cambio de uso del suelo, uso de plaguicidas, pesticidas, malas prácticas agrícolas, sobrepastoreo, excesiva mecanización, excesivo laboreo, incendios forestales, la expansión de la urbanización, la sobrepoblación, etc. (López, 2002).

4.4.1 Tipos de degradación de suelos

A pesar del tipo de degradación sufrida, el deterioro estructural es una propiedad que siempre se ve afectada, debido a que (UNALMED, 2014):

- **Hace más complejo el proceso de enraizamiento de las plantas**, una mayor dispersión de los coloides del suelo, crea textura más gruesa, un suelo compactado y duro no brinda las condiciones óptimas, provoca una mortalidad tanto de semillas como plantas.
- **La disponibilidad de los elementos nutritivos disminuye**, ocurren pérdidas de material debido a los procesos erosivos, la disminución de la materia orgánica y la degradación del suelo provocan pérdida de nutrientes lo que afecta directamente la vegetación de este y, un decrecimiento en la capacidad de intercambio catiónico que deteriora sus propiedades físicas y

químicas, obteniendo al final de todo el proceso suelos ácidos y un incremento en la toxicidad de estos.

- **La retención de agua por parte del mismo cada vez es menor**, a causa de una menor permeabilidad del suelo y una considerable dificultad para infiltrar el agua lluvia, razón por la cual hay un aumento en la escorrentía, y un menor aprovechamiento del agua.

Existen muchos procesos de degradación de suelos, la FAO, los ha agrupado en seis categorías (FAO, 1980):

4.4.1.1 Erosión hídrica

Incluye los procesos de erosión por salpicadura, la erosión laminar, la erosión en cárcavas.

4.4.1.2 Erosión eólica

La erosión eólica abarca tanto la remoción y el depósito de partículas de suelo por la acción del viento, como los efectos abrasivos de las partículas móviles cuando estas son transportadas.

4.4.1.3 Exceso de sales

Comprende los procesos de salinización y alcalinización.

4.4.1.4 Degradación química

Para procesos tales como la lixiviación de bases y la formación de toxicidades diferentes a las de exceso de sales.

4.4.1.5 Degradación física

Hace referencia a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como la porosidad, permeabilidad, densidad aparente o de volumen y estabilidad estructural.

4.4.1.6 Degradación biológica

Referente a los procesos que aumentan la velocidad de mineralización del humus.

Los repentinos cambios de clima, y el estado de degradación de las cuencas, alteran la calidad del agua de las fuentes utilizadas para el abastecimiento de la población. Además de la deforestación y la contaminación de fuentes específicas (vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales), en épocas de invierno se suma a ello la polución generada por la sedimentación a causa de **la erosión hídrica**, tipo de degradación de suelos, en la cual se hará énfasis en este trabajo de grado.

La erosión hídrica es el arrastre de partículas constituyentes del suelo por acción del agua; la gota de lluvia por acción de su impacto sobre la superficie del suelo desnudo, actúa compactando y destruyendo su estructura, haciendo saltar partículas a una cierta altura, las cuales son arrastradas por el flujo de agua. Este fenómeno se convierte en una amenaza cuando (López, 2002):

- **Las lluvias son intensas o de larga duración:**

La intensidad determina la agresividad de la lluvia.

Tabla 1. Intensidad de la lluvia y evaluación.

Intensidad (en mm.h ⁻¹)	Evaluación
<2	Suave
2 –20	Moderada
20—50	Fuerte
50—90	Muy fuerte
>90	Torrencial

Fuente: López, 2002

- **Las escorrentías generadas son amplias y rápidas:**

Depende de la intensidad y la duración de lluvia, la cantidad y la proporción de la escorrentía, donde su máximo comportamiento se observa en terrenos con problemas de erosión con aguaceros intensos y duraciones cortas (Ayres, 1960).

- **La erosionabilidad del suelo:**

Esta susceptibilidad que tiene el suelo para ser erosionado, depende de la textura estructura, contenido de materia orgánica, contenido de carbonato de calcio, pedregosidad, porosidad y profundidad, alguna de estas derivadas de la permeabilidad, capacidad de retención de agua, estabilidad estructural, y la resistencia a la dispersión (Romero et al., 2008).

- **Las pendientes son muy pronunciadas:**

El aumento de la inclinación y longitud de la pendiente hace que la capacidad de arrastre de un suelo sea mayor, debido al aumento de caudal y a su vez la velocidad de transporte, que hacen que la capacidad de arranque y de transporte sean cada vez mayor, lo que se ve reflejado en la aparición de la erosión en surcos o incluso cárcavas (Conesa et al., 2004).

- **Hay poca o nula cubierta vegetal:**

Constituye el factor de control más importante del suelo ante la erosión (López, 2002), está comprobado que el estado de degradación de un suelo muestra la situación en la que se encuentra su cobertura vegetal, esta disminución de la vegetación es causada por el incremento de prácticas agrícolas inadecuadas, el sobrepastoreo, incendios forestales, obras de infraestructura, factores que favorecen la degradación de suelos. (Almorox et al., 2010).

4.4.2 Factores antrópicos

A través del uso inadecuado de los recursos naturales, como la deforestación, malas prácticas agrícolas, uso de maquinarias pesadas entre otras mencionadas anteriormente.

Según Rivera et al., (2006) existen cinco fenómenos erosivos más comunes:

- **Desprendimiento y erosión laminar:** Desplazamiento casi uniforme de una capa o perfil delgado del suelo, producido por el impacto de las gotas de lluvia al golpear el suelo y por la fuerza de la escorrentía.
- **Erosión en surcos:** Formación de pequeños surcos que con el tiempo se transforman en zanjas a lo largo de la pendiente del terreno.

- **Erosión en cárcavas:** Avance degradativo de la erosión en surcos, ocasionado por la unión de varios de éstos para formar zanjas de gran tamaño con frecuencia ramificadas y profundas, originadas por la concentración y descarga de caudales altos en un solo sitio.
- **Cárcavas de tipo remontante:** Proceso progresivo de socavamiento, caracterizado por la extensión del área degradada desde abajo hacia arriba y hacia los costados del área degradada.
- **Remoción masal:** Movimiento de una masa de suelo, ocasionado por el aumento del peso debido a la infiltración del agua y la acción de la gravedad. Puede ser de desplazamiento lento como la solifluxión o de flujo rápido como los derrumbes (Federcafé, 1975).

La erosión hídrica, junto con los problemas que la anteceden, generan incrementos sustanciales de sólidos suspendidos en las cuencas (livianas partículas de limos, arcilla y materia orgánica, que son transportadas por el agua), turbiedad, cambios de color en el agua, entre otras; razones por las cuales se altera la calidad del recurso y dificulta la labor de las plantas de potabilización; en donde la eficacia de estas depende del cumplimiento de los estándares de calidad establecidos independientemente de las variaciones en la calidad de este, esto implica utilizar métodos complementarios para su tratamiento y, en casos extremos la suspensión del suministro del recurso a la población (López, 2002).

Análogamente, en temporada de calor, el caudal de los ríos disminuye; razón por la cual las plantas de tratamiento no tienen el caudal adecuado para potabilizar el agua demandada por los habitantes.

La mayoría de los procesos erosivos ocurren por el cambio en el uso del suelo, ejemplos de ello son el arado excesivo, las desyerbas con azadón, el uso de herbicidas entre otras actividades que generan una pérdida de bioestructura y

de materia orgánica en el suelo, además de dejarlo desnudo y más susceptible a ser arrastrado por el agua o el viento.

La deforestación es la consecuencia de la tala de bosques para la ganadería y cultivos a causa de la densificación poblacional; una vez las raíces de los árboles han sido descompuestas dejan espacios vacíos en el suelo que luego pasan a llenarse de agua durante los aguaceros, convirtiéndose en un problema cuando este se satura, por tales motivos ocurren los derrumbes y deslizamientos (Carvajal & Calle, 2012).

Los caminos ondulados dejados por el ganado a causa del sobrepastoreo, sumado a ello la ubicación en terrenos con pendientes pronunciadas y sin árboles hace que los hoyos y compactaciones generados por las pezuñas de estos, con el tiempo formen cárcavas y se ocasionen grandes deslizamientos de suelo.

Considerando que la cuenca del río Cali abastece de agua a una gran población, es importante hacer una adecuada planeación de sus recursos que permitan una mayor y mejor producción hídrica por parte de la misma, pues es notable el aumento de la población en los centros urbanos y con ello la expansión de la frontera agrícola, en donde las actividades que ahí se realizan carecen de tecnologías sostenibles, que conllevan al deterioro de los suelos y de la calidad del agua generando mayor presión sobre sus fuentes hídricas superficiales (Carvajal et al., 2009).

4.5 OBRAS DE BIOINGENIERÍA

Según (Rivera et al., 2006) son métodos empleados en la restauración ecológica de remociones masales y suelos severamente erosionados, se basan en el establecimiento de estructuras biomecánicas en los focos erosivos y en sus zonas de influencia, empleando para este fin materiales vegetales vivos propios

de cada región para favorecer la recuperación de suelos y la vegetación. Entre las obras de ingeniería se destacan las siguientes:

4.5.1 Sistemas de drenaje mediante filtros vivos en espina de pescado

Son zanjas interconectadas en el sentido de la pendiente, que rellenan con camas sobrepuestas de material vegetal con capacidad de rebrote. Los filtros vivos permiten la evacuación rápida de las aguas internas que saturan el terreno, conduciéndolas hasta lugares seguros, como drenajes naturales y cunetas.

4.5.2 Trinchos vivos escalonados con o sin vertedero

Estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a través de la pendiente o dentro de los drenajes naturales y cauces de quebradas. Los trinchos vivos disipan la energía cinética del agua, controlan el arrastre de materiales, estabilizan el terreno y favorecen la recuperación de la vegetación. No son obras de contención.

4.5.3 Terrazas vivas

Estructuras de estabilización construidas en sentido de la pendiente formando balcones escalonados que luego son revestidos con cobertura vegetal. Brindan estabilidad en la base de terrenos deleznales, especialmente en taludes, derrumbes y negativos de carreteras.

4.5.4 Disipadores de energía y escalinatas

Estacas acostadas a través de la pendiente en áreas desprotegidas. Los disipadores y escalinatas reducen la velocidad del agua de escorrentía y cubren con vegetación las áreas críticas y de tránsito.

4.5.5 Manejo técnico de carreteras y corredores ribereños

Conducción segura del agua en cunetas, taludes y negativos de carreteras y estabilización de corredores ribereños. Incluye obras tales como la apertura de ventanas.

4.6 CALIDAD DEL AGUA

Según Berrenechea (2004), el término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

A continuación se tratan algunas de las principales características fisicoquímicas que fueron determinadas para definir la calidad del agua:

4.6.1 Porcentaje de Oxígeno disuelto (%O)

Es el oxígeno libremente disponible en el agua, de baja solubilidad requerido para la vida acuática aerobia. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. La concentración de saturación de OD es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua (Romero, 1996).

4.6.2 Conductividad (CE)

Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. El agua pura prácticamente no conduce electricidad; por lo tanto la conductividad que se puede medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. El instrumento para medir la conductividad se llama conductivímetro, básicamente lo que hace es medir la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de ClK a la misma temperatura y 20°C (Ormaza, 2011).

4.6.3 Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Berrenechea, 2004).

4.6.4 pH

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9 (Berrenechea, 2004).

4.6.5 Sólidos y residuos

Según Berrenechea (2004), se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos. La distribución de partículas en el agua según su tamaño, pueden estar:

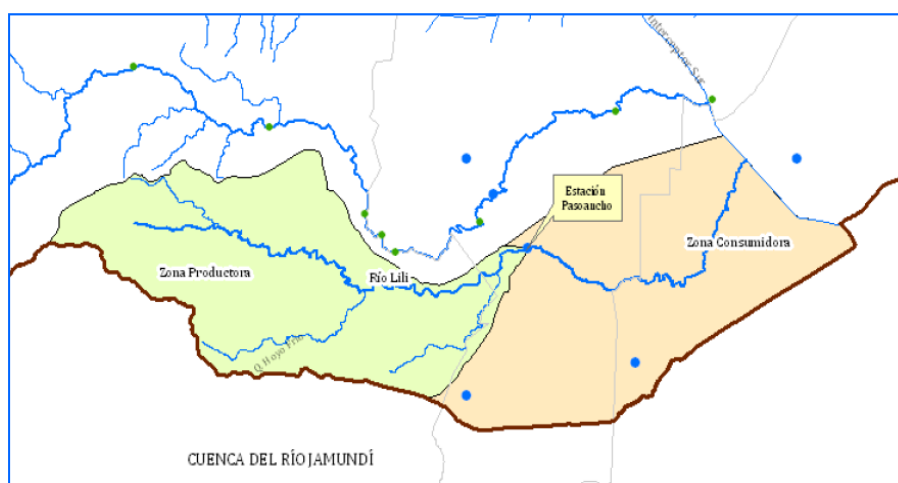
- Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor.
- Formando sistemas coloidales (1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.
- En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.
- Es necesario aclarar que las pruebas analíticas para determinar las formas de los residuos no determinan sustancias químicas específicas y solo clasifican sustancias que tienen propiedades físicas similares y comportamiento semejante frente a las diferentes condiciones ambientales.

4.7 LA MICROCUENCA DEL RÍO LILI

Según (Gonzales, 2005), el área de la microcuenca del río Lili tiene una superficie aproximada de 2000 Ha, que hace parte de la cuenca del río Meléndez, que junto con la del río Cañaveralejo conforman sus dos principales afluentes. El río Lili tiene una longitud aproximada de 20 kilómetros, nace en el alto del Otoño en la cota a los 2300 msnm, ubicado en la vertiente oriental de la cordillera occidental, municipio de Cali, desciende por un área montañosa en el corregimiento de la Buitrera y después de cruzar el casco urbano de Cali y parte del corregimiento de Navarro, desemboca en el canal residual CVC Navarro construido sobre el cauce del río Meléndez a los 950 msnm, que a su vez es tributario del río Cauca, una de las principales vertientes de Colombia.

La diversidad biológica y paisajística, se presentan por la presencia de relictos selváticos de montaña, ladera y galería, como consecuencia de las particularidades climáticas que se dan entre áreas híbridas o ecotónicas, localizadas entre los 2200-1800 msnm, donde se entrecruza la vegetación influenciada por los pisos calientes y templados, que corresponden al valle geográfico del río Cauca y a la parte alta de los farallones de Cali.

Figura 2. Localización de la cuenca del río Lili y delimitación de las zonas productora y consumidora



Fuente: CVC, 2007.

4.7.1 Zonas de vida

Según UMATA et al., (2005) en este corregimiento, por encontrarse inmediaciones de la cordillera occidental se localizan varias zonas de vida de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, a saber:

Bosque seco tropical (bs-T)

Está situado especialmente en áreas con temperaturas superiores a los 24 ° C y con promedios anuales de precipitación pluvial están entre los 1000 y 2000 mm. La vegetación de tipo boscosa ya casi no existe, debido a que las condiciones climáticas condicionan estas áreas para actividades agropecuarias, llevando a la tala del bosque; las maderas que crecen en estas áreas como la teca y la caoba, constituyen especies valiosas. Esta zona se ubica en los límites del corregimiento, principalmente en la vereda El Plan Cabecera, La Luisa y la zona urbana de Cali.

Bosque Húmedo Premontano (BH-PM)

Aparece generalmente en las cordilleras y en las zonas cafeteras. La biotemperatura media oscila entre 17°C y 24 °C, se extiende aproximadamente entre los 900 a 1100 y 1900 a 2000 m.s.n.m. En esta franja el promedio anual de lluvias es de 1.000 a 2000 mm. La vegetación natural ha sido altamente modificada y reemplazada por cultivos de pan coger. Esta zona se ubica en las veredas La Luisa, El Plan Cabecera, Pueblo Nuevo – El Crucero y El Rosario y El Otoño.

4.7.2 Suelos

Según UMATA et al., (2005) los suelos del corregimiento de La Buitrera, son ácidos, rojizos y el espesor no supera los 20 cm. Por esto se busca controlar la

acidez con cal apagada. La vocación del uso del suelo es para minería y cultivos de bosques nativos. Esta zona presenta una topografía entre ondulada y quebrada, con unas zonas más pronunciadas que otras, cuyas pendientes oscilan entre 12.5 y 50%. En la zona cercana a la zona urbana las pendientes oscilan entre 5 y 25%.

4.7.2.1 Uso del suelo

Los suelos están dedicados a la explotación minera, cultivos de pancoger, rastrojos, bosques secundarios, terrenos en procesos de reforestación, parcelaciones y pequeños centros poblados. De acuerdo con la CVC 2004 (citado por Collazos et al., 2010), la mayoría de la cuenca del río Lili (34%) consiste de césped natural, de los cuales 30% están localizados entre las áreas urbanas y suburbanas. La cuenca está influenciada por la actividad minera y los cultivos de caña de azúcar situados en el área (*ver tabla 2*).

Tabla 2. Usos de suelo de la cuenca

Uso del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosques	466,5	19
Cultivos de caña de azúcar	84,3	3
Infraestructura	70,4	3
Pastos naturales	864,3	34
Minería	92,4	4
Rastrojos (tipo de pastos- hierba)	177,9	7
Área suburbana	48,6	2
Área urbana	702,6	28
Total	2506,9	100

Fuente: Collazos et al., 2010

4.7.3 Precipitación y temperatura

Según (Collazos et al., 2010) en la parte alta de la cuenca del Río Lili se presentan las mayores precipitaciones y menores temperaturas, mientras que en la parte baja de la cuenca ocurre lo contrario, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3. Datos de precipitación y temperatura de toda la cuenca

Parte de la Cuenca	Precipitación (mm/año)	Temperatura (°C)
Alta	2.000	16
Media	1.400	21
Baja	1.000	24

Fuente: Collazos et al., 2010

La precipitación en la cuenca del río Lili presenta un comportamiento bimodal, con dos periodos secos en los meses de diciembre, enero y febrero, y junio, julio y agosto; así como dos periodos húmedos en los meses de marzo, abril y mayo y septiembre, octubre y noviembre (CVC, 2007).

4.7.4 Recurso agua

De acuerdo con el DAGMA, 1997 (citado por Collazos et al., 2010) el río Lili es usado para consumo humano antes del perímetro urbano de Cali, siendo el mayor consumo realizado en el corregimiento de La Buitrera; además, es usado para el riego de caña de azúcar y para la alimentación de ganado. La demanda doméstica para la cuenca del río Lili es de 2.753,35 m³/día, que equivale a 2,52 mm/mes (CVC, 2007).

4.7.4.1 Índice de Calidad de Agua del Río Lili

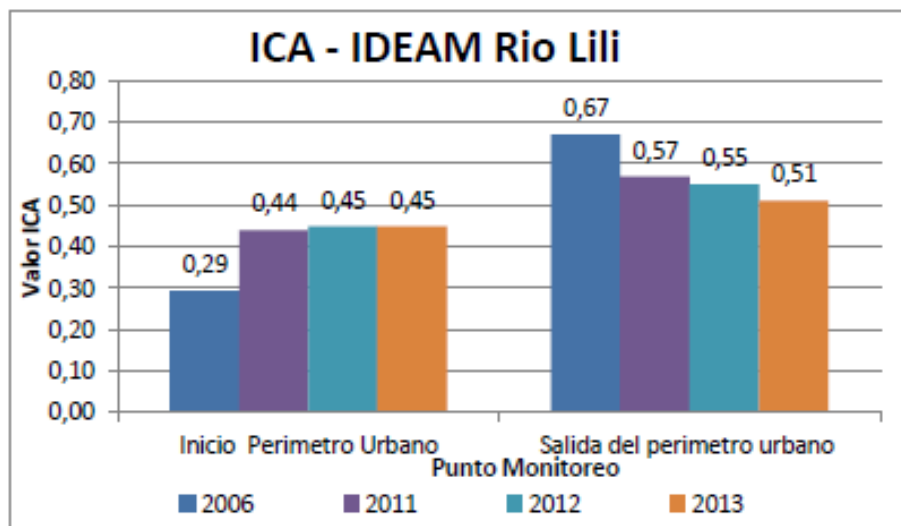
Según estudios realizados por el IDEAM para los años 2006 y 2013 y los realizados por el DAGMA para los años 2011 y 2012, el río Lili presenta dos índices de calidad de agua a partir de la escogencia de dos zonas de estudio, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Índices de calidad de agua del Río Lili

Río Lili: Valores ICA-IDEAM					
Puntos de monitoreo	2006	2011	2012	2013	Clasificación ICA – 2013
Inicio Perímetro Urbano	0,29	0,44	0,45	0,45	Mala
Salida del Perímetro Urbano	0,67	0,57	0,55	0,51	Regular

Fuente: IDEAM, 2013

Figura 3. Índice de Calidad de Agua para el Río Lili



Fuente: IDEAM, 2103

Del estudio se obtuvo que al inicio del perímetro urbano la calidad de agua para todos los años de registro fue “Aceptable”. Para la salida del perímetro urbano, en el año 2006 fue “Mala” y para los años 2011, 2012 y 2013 la calidad fue “Regular” mostrando una mejoría con respecto al año 2006, sin embargo, el índice de calidad está mostrando una disminución, siendo así, que para el año 2013 el valor ICA-IDEAM está acercándose al rango de “Mala” (*ver figura 3*).

5 ESTADO DEL ARTE

En el mundo se encuentran diversos estudios que muestran cómo el cambio en el uso del suelo en las cuencas hidrográficas altera la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico, tal es el caso de Sudáfrica en donde según (FAO, 2007) se adelanta un proyecto titulado CAMP que traduce programa de gestión de zonas de captación y reducción de la pobreza, que se lleva a cabo en la cuenca Luvuvhu provincia de Limpopo, que alimenta el río Limpopo, en la frontera de Zimbabwe y Mozambique que investiga cómo repercuten los diferentes tipos de cubierta vegetal en el régimen hídrico y la disponibilidad de agua. Además se están estudiando los nexos entre la disponibilidad de agua y los medios de vida en varias comunidades.

Se documentaron los cambios producidos entre el caudal del río y la evaporación, por la modificación de la cubierta vegetal, y se evaluaron con modelos hidrológicos que tienen en cuenta el uso de la tierra, especialmente configurados para la cuenca de Luvuvhu. Así mismo, se elaboró un marco de los nexos entre el caudal del agua y su valor económico y para los medios de vida. Aunque el estudio todavía no ha arrojado resultados favorables, una vez cumplido el requisito mínimo de suministrar 25 litros de agua per cápita al día, las posibilidades de que la población pobre sea beneficiada del recurso son mínimas.

Otro caso es el que se presenta al Noreste de Tailandia, en el cual (Sthiannopkao et al., 2007) estudiaron la cuenca del Río Phong, en donde el 27% de la superficie total de la cuenca es bosque, el 64,05% áreas destinadas para la agricultura (arrozales, yuca, maíz y caña de azúcar) y el 8.62% destinado a otros usos.

Se encontró que haber utilizado las áreas forestales de la cuenca para uso agrícola en menos de 30 años trajo consigo problemas como la erosión del suelo, inundaciones, sedimentación, salinidad, y una mala calidad del agua (KKU, 1995); en temporada de lluvias se incrementó el nivel de turbidez de este,

imposibilitando el trabajo de la presa Ubolratana, encargada del suministro municipal en la ciudad de Khon Kaen, razón por la cual ha reducido en un 1,4% la capacidad máxima de almacenamiento de agua. Las muestras de agua tomadas en los años 2004 y 2005 en la parte alta de la cuenca Phong mostraron que la turbidez, la cantidad de sólidos suspendidos, los coliformes totales, TDS, NO_3^- , PO_4^{3-} , alcalinidad y conductividad eran mayor en temporadas lluviosas y que las cantidades de TDS, NO_3^- , PO_4^{3-} , alcalinidad y conductividad eran mayores en verano.

Por su parte, el reservorio de captación de Maithon, India (Sharma & Tiwari, 2010) usó la ecuación universal de pérdida de suelo en conjunto con un SIG (Sistema de Información Geográfica) para determinar la influencia del uso del suelo y su cambio de cobertura en la erosión potencial del suelo de la cuenca durante el periodo de 1989 a 2004. En donde el análisis espacial reveló que la desaparición de zonas de bosque en partes relativamente planas y la intensificación de cultivos, contribuyeron de manera significativa a la pérdida de suelo pues se pasó de 12,11 ton/ha-año en el año 1989 a 13,21 ton/ha-año en el año 2004. Además se observó que los bosques actúan como una barrera eficaz para controlar la erosión potencial del suelo.

En el caso de Texas, EE.UU. para Huss, (1993) los cambios en el tipo de vegetación, las modificaciones en la cubierta y las intensidades de pastoreo también pueden dar como resultado cambios correspondientes en el régimen hidrológico. En general, la infiltración aumenta y el escurrimiento y la erosión disminuyen con el mejoramiento de la condición del pastizal. Pues Leithead (citado por Huss, 1993) encontró que el escurrimiento aumentaba en el área del "Davis Mountain Big Band" en Texas, a medida que se deterioraba la condición del pastizal y se hacía más lenta la absorción de la humedad por el suelo. Se llegó a la conclusión de que un sitio de pastoreo en buenas condiciones podía absorber humedad entre cinco y seis veces más rápido que el mismo sitio en malas condiciones. Además, Allred (citado por Huss, 1993) demostró que la tasa de infiltración de lluvia disminuía drásticamente con la reducción de la cubierta

vegetal y de materia orgánica (*Tabla 5*). La tasa de infiltración en el suelo denudo sólo alcanzó a 0,5 pulgadas por hora en comparación con una tasa de 1,0 pulgada por hora en tierras de pastoreo protegidas por 750 libras de forraje y material orgánico por acre, y 9,4 pulgadas por hora en tierras de pastoreo con 5.800 libras de material vegetativo por acre.

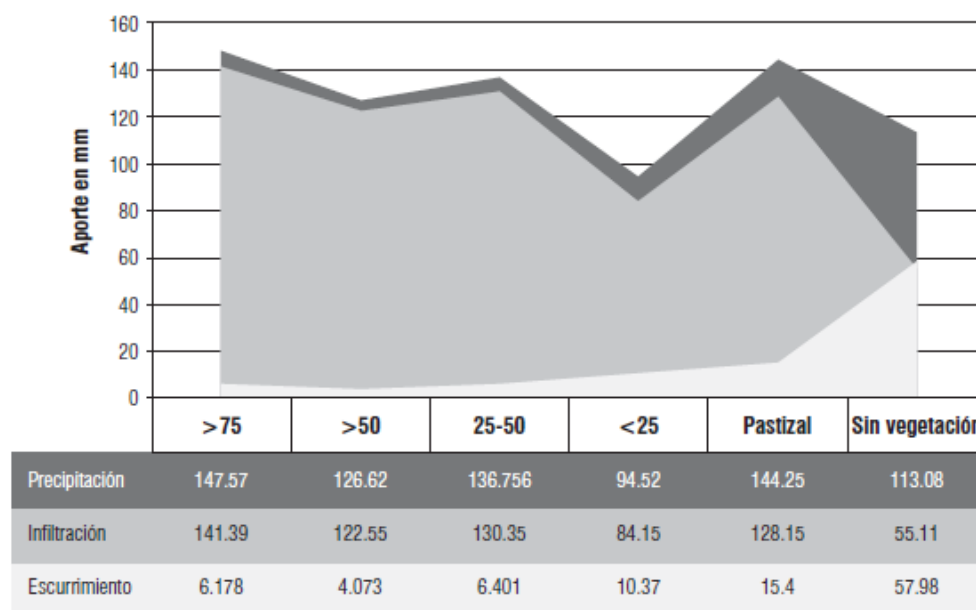
Tabla 5. Relación entre el forraje y el contenido de materia orgánica y la tasa de infiltración por hora

Libras forraje mat.org.acre	Pulgadas de infiltración por hora
750	1,0
2150	8,5
5800	9,4

Fuente: Alfred (citado por Huss, 1993)

En México, Arias et al., (2008), tomaron 4 diferentes tipos de densidad de bosque de la microcuenca del río Salado (de 25% de densidad o menos, de 25 a 50%, de 50 a 75% y mayor a 75%) así como otros 2 usos de suelo: pastizal, sin vegetación; a los cuales les hicieron un monitoreo que consistió en determinar el volumen de escurrimientos superficial y la medición de la precipitación pluvial, este se efectuó dos veces a la semana durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2007. Así mismo, se hizo una estimación de la infiltración a partir de la diferencia de las lecturas pluviométricas y la escorrentía superficial por tipo de cobertura (*ver Figura 4*). Adicionalmente se estimó la pérdida de suelo por medio de muestras colectadas en cada lote, después de cada evento de lluvia durante el mes de Julio.

Figura 4. Precipitación pluvial, escurrimiento superficial e infiltración por tipo de cobertura de la microcuenca del río Salado, Bosque La Primavera



Fuente: Arias et al., (2008)

De lo cual se obtuvo que el suelo de bosque de coberturas mayores a 25% permite hasta un 95% de infiltración de lluvia natural, disminuyendo hasta promedio cercanos al 90% en bosques menores a 25% de densidad de cobertura; mientras que los pastizales y las áreas desprovistas de vegetación son zonas con un alto potencial para producir escurrimiento. Además se evidenció una pérdida de suelo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Estimación potencial de pérdida de suelo por tipo de cobertura

Tipo de Cobertura	Pérdida de suelo (Kg/ha)
Bosque > 75%	17,65
Bosque > 50%	45,28
Bosque 25 - 50%	40,26
Bosque < 25%	20,05
Pastizal	18,33
Sin vegetación	106,81

Fuente: Arias et al., (2008)

Mientras que en Centroamérica, (García, 2003), analizó el deterioro de la calidad del agua del río Tascalapa, Nicaragua, mediante indicadores físico-químicos, biológicos y geomorfológicos. Para el análisis biológico, se utilizaron macroinvertebrados acuáticos clasificados taxonómicamente, como indicadores de la calidad de agua; estos miden el impacto de la contaminación térmica y la sedimentación. Organismo que sufren cambios a nivel morfológico, fisiológico o de desarrollo, indicando así condiciones físicas y/o químicas del hábitat donde se encuentran. Se realizaron muestreos de agua en 12 estaciones (distribuidas en áreas de bosque, cultivos y casas) del río Tascalapa y se midieron los parámetros de oxígeno disuelto (mg/l), sólidos totales disueltos (mg/l), conductividad, salinidad, temperatura (°C), pH, la turbidez (UTN), nitratos (mg/l), ortofosfatos (mg/l). Se utilizaron análisis de varianza para determinar las variaciones de la calidad del agua.

En Uruguay, según (Oleaga et al., 2008) la principal causa de deterioro de los suelos es la erosión hídrica. Cuando el suelo queda desprotegido de la vegetación y es sometido a las lluvias, los torrentes arrastran las partículas superficiales y sedimentos hacia las depresiones del relieve, arroyos y ríos (escorrentía o escurrimiento superficial), lo que, además de perderse las capas más fértiles del suelo, da origen a la contaminación física y química de las aguas superficiales.

Por tal motivo, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) a través de la Dirección de Recursos Naturales Renovables (RENARE) ha propuesto la construcción de una red de monitoreo a los efectos de conocer la condición y evolución de los factores bióticos, edáficos e hídricos y del uso de la tierra en el territorio nacional (*Ver Tabla 7*). Pues se cree que el monitoreo de la dinámica del uso del suelo y de los indicadores de estado (grado de erosión de los suelos, contaminación de aguas, frecuencia de especies nativas, etc.) es clave para la planificación y ejecución de políticas orientadas al uso sostenible de los recursos naturales. Lo que requerirá esfuerzos interinstitucionales público-privados.

Tabla 7. Propuesta preliminar de indicadores para instalar una red de monitoreo de estado de los recursos naturales (RENARE-MGAP)

a). Diversidad biológica (biota espontánea o natural)
<p>Fauna</p> <p>Campo natural</p> <p>Bosque nativo espontáneo</p> <p>Algunos ejemplos:</p> <p>Tipo forestal/área total bosque;</p> <p>Frecuencia de especies representativos de diversos hábitats y rango de distribución.</p> <p>Frecuencia de especies nativas forrajeras en campo natural</p> <p>Presencia de especies exógenas; Carga ovina por tipo CN</p> <p>Área, tipo y diversidad de especies de bosque nativo.</p>
b). Degradación y recuperación del suelo
<p>Erosión hídrica (pérdida de sedimentos de suelo)</p> <p>Calidad (contenido de C orgánico, materia orgánica, fósforo, etc).</p> <p>Estructura (estabilidad estructural, densidad, velocidad de infiltración, textura, etc)</p> <p>Contaminación (agroquímicos, residuos industriales, etc).</p> <p>Algunos ejemplos:</p> <p>Contenido C orgánico/tipo suelo/uso predominante</p> <p>Nitrógeno en biomasa total; Profundidad del horizonte A</p> <p>Capacidad de intercambio Catiónico; pH</p> <p>Color de la superficie del suelo en relación a suelos similares vírgenes</p>
c). Déficit, excesos hídricos (relacionados con usos de la tierra)
<p>Porcentaje de agua disponible en el suelo; Relación Precipitaciones/ETP</p>
<p>Nivel reservas de agua y de vías de drenaje; Área forestada por una cuenca hidrográfica</p>

Dinámica del agua en áreas de desarrollo forestal: 1) precipitación incidente; 2) precipitación directa; 3) escurrimiento fustal y 4) humedad del suelo
d). Calidad del agua superficial y subterránea
Sólidos totales (principalmente en cierre de cuencas). Nutrientes (nitatos, fosfatos); Silicatos; pH, conductividad; cloruros en agua Indicadores orgánicos; Plantas y fauna indicadoras; Agro-químicos o sus Metabolitos disueltos en el agua
e). Uso de la tierra
Cobertura, productividad primaria Intensidad de uso Forma/calidad de uso Superficie de áreas cultivadas en relación a áreas naturales Índice Verde Normalizado (IVN); Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) Frecuencia de diferentes cultivos; Frecuencia de malas prácticas conservacionistas

Fuente: Oleaga et al., 2008

Notas: IVN: Es un índice de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación verde, que se apoya en la información satelital.

PPNA: Mide la cantidad de energía disponible para los niveles tróficos subsiguientes. Puede ser estimada a partir del IVN

En Argentina (Cantú et al., 2007), evaluaron la calidad del suelo en agroecosistemas con Molisosles a través de un set mínimo de indicadores en la cuenca del arroyo La Colacha. Donde se midieron propiedades como: carbono orgánico, pH, saturación de bases, estabilidad estructural, velocidad de

infiltración, densidad aparente y espesor del horizonte A; teniendo en cuenta la validez local que permiten representar las condiciones de la zona, además de ser un número mínimo de variables del suelo que integran información de otras variables asociadas, incorpora indicadores físicos, químicos y fisicoquímicos, y en su mayoría son de fácil medición.

A dichas variables se les establecieron rangos de calidad en donde a partir de ellos se normalizaron los indicadores, los valores máximos y mínimos fueron establecidos de diferentes formas para cada indicador (*ver tabla 8*). Para algunos atributos, especialmente para las condiciones óptimas, se tuvieron en cuenta umbrales calculados a partir de los valores de los suelos de referencia mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos.

Tabla 8. Indicadores de calidad de suelos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para la subunidad Pendientes, Unidad Alto Estructural Rodeo Viejo - La Morocha, Cuenca La Colacha, Córdoba.

Indicador	Unidad de medida	I máx valor máximo	I mín valor mínimo
C orgánico	%	2,5	0,6
pH		7,0	5,5
Saturación de bases	%	100,0	50
Agregados estables en agua	%	94,0	20
Velocidad de infiltración	cm/hora	4,0	1
Densidad aparente	Mg m-3	1,5	1,15
Espesor horizonte	cm	45,0	0

Fuente: Cantú et al., 2007

Finalmente, se estableció un índice de calidad de suelos (ICS) promediando los valores de todos los indicadores. Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 9. Clases de Calidad de Suelos.

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 -1,00	1
Alta calidad	0,60 -0,79	2
Moderada calidad	0,40 -0,59	3
Baja calidad	0,20 -0,39	4
Muy baja calidad	0,00 -0,19	5

Fuente: Cantú et al., 2007

Tabla 10 .Indicadores e índice de calidad del suelo para la subunidad Pendientes, Unidad Alto Estructural Rodeo Viejo - La Morocha, Cuenca La Colacha, Córdoba.

Indicador	Valor indicador
C orgánico	0,18
pH	0,57
Saturación de bases	0,98
Agregados estables en agua	0,32
Velocidad de infiltración	0,33
Densidad aparente	0,56
Espesor horizonte A	0,32
Índice de calidad del suelo	0,47

Fuente: Cantú et al., 2007

El índice de calidad del suelo (ICS: 0,47) obtenido mediante este conjunto mínimo de indicadores (Tabla 10) se ubica en la clase de moderada calidad de suelos (Tabla 9). Se encontró que el valor del ICS está fuertemente influenciado por el indicador Carbono orgánico. El C orgánico es considerado un atributo clave dada su marcada influencia sobre la mayoría de las propiedades del suelo. La disminución del C orgánico sería la causa principal de los valores bajos del indicador estabilidad de agregados e infiltración y medio del indicador densidad aparente (Cantú et al., 2007).

En el caso de Colombia (Jiménez et al., 2010) describieron los perfiles del suelo y caracterizaron física (invierno) y químicamente (invierno y verano) un suelo sometido a diferentes sistemas de uso (frutales, silvo-pastoreo, bosque secundario, pastos de corte y pastoreo con baja densidad de árboles) en el centro agropecuario Cotové de Santa fé de Antioquia.

En el sistema de pastoreo con baja densidad de árboles, se encontraron diferencias significativas a los otros sistemas de uso, esto se vio reflejado en una mayor densidad aparente y una menor porosidad total y de macroporos debido a la poca vegetación y a la compactación causada por la ganadería. En el sistema de bosque secundario y de silvo-pastoreo se encontró que son los que tienen los valores más bajos en densidad aparente esto se debe a una menor actividad antrópica combinada con actividades agropecuarias y una mayor cantidad de vegetación, lo que proporciona un mayor contenido de materia orgánica y una mayor porosidad respectivamente. La conductividad hidráulica en cada uno de los suelos fue moderada, en general presentan una infiltración buena y una capacidad de retención de agua buena. En los análisis químicos se encontró que todos los suelos presentan propiedades químicas similares a diferencia del sistema de pastoreo con baja densidad de árboles. Se concluye que los suelos se han mantenido durante el tiempo ya que la caracterización de estos suelos indica que son relativamente estables al no haber encontrado diferencias significativas con estudios iguales realizados en 1971, 1977, 1978 y 1986.

Rodríguez (1999) obtuvo información en parcelas de erosión, bajo condiciones de lluvia natural y de lluvia simulada, acerca del efecto de las barreras vivas y de las coberturas en la protección de los suelos contra la erosión hídrica, en diferentes sistemas de producción; la sistematización de los datos provienen de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

Encontró que los sistemas naturales en los que hay poca o ninguna intervención del hombre se presentan los valores más bajos de CP (interacción de la Cobertura de los cultivos y las Prácticas de conservación), en bosques y

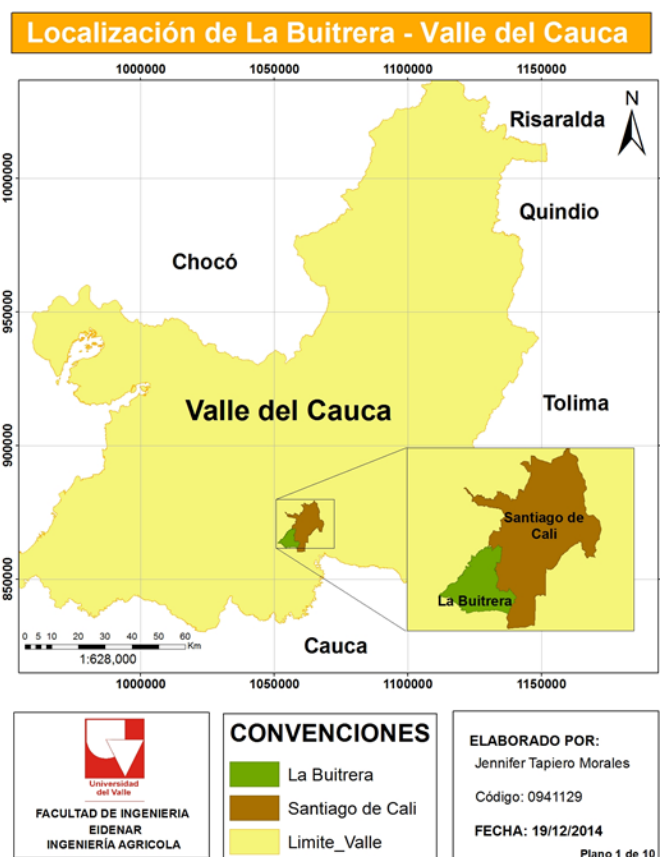
pastizales densos, el valor de CP es menor que 0,001 y que las pérdidas de suelos son muy bajas. En los sistemas de labranza cero o donde se producen grandes cantidades de residuos, como en los cultivos de frutales permanentes, el producto CP oscila entre 0,001 y 0,1. En los sistemas de producción altamente intervenidos, en los que hay cultivos de ciclo corto y escardas o labores frecuentes, el valor de CP es mayor que 0,1, lo que indica que las pérdidas de suelo son más altas. Las barreras vivas, consideradas solas o junto con cultivos y otras prácticas, y espaciadas a diferentes distancias, tienen valores de CP menores que 0,001 al asociarse con altos niveles de residuos o cultivos permanentes, y llegan a valores de 0,53 cuando están solas y en su primer año de establecimiento, tiempo en que aún no brindan una buena protección.

Por lo tanto, en la medida en que los sistemas de cultivo se asemejen a los sistemas naturales y puedan manejarse para obtener un nivel de cobertura alto, darán al suelo un grado de protección contra la erosión cada vez mayor.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en el corregimiento La Buitrera en la microcuenca del río Lili (*ver Figura 5*), que presenta las siguientes condiciones ambientales: Temperatura promedio de 21°C. Humedad relativa del 70% y precipitación de 1400 mm. El área presenta pendientes de ladera entre 20-60%, conformando el área de conducción, además de colinas las cuales se suavizan en la medida que disminuye el gradiente, con formas suaves, redondeadas y solo ocasionalmente con pendientes fuerte (Gonzales, 2005).

Figura 5. Localización del corregimiento La Buitrera a nivel de departamento

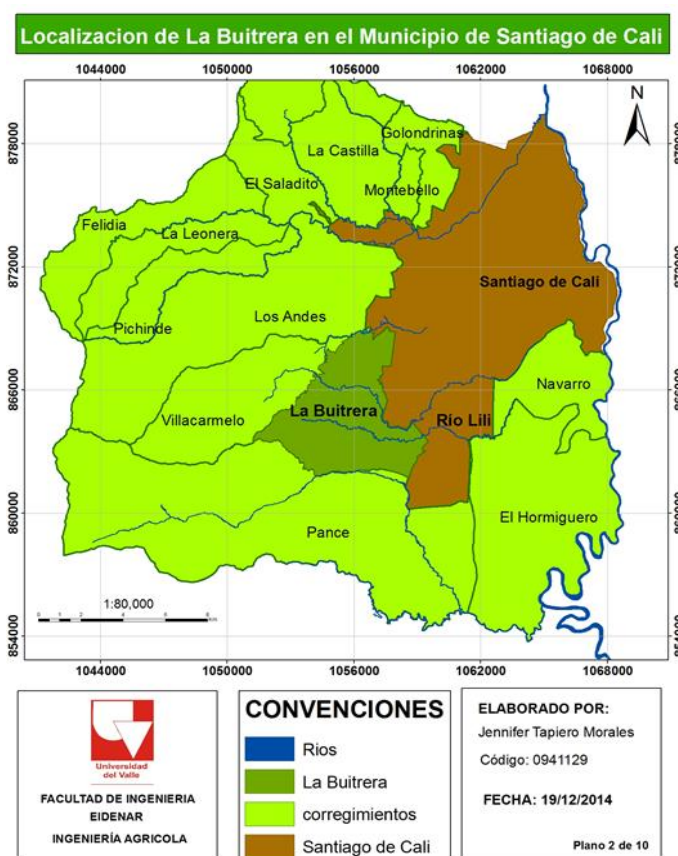


Fuente: Elaboración propia

El corregimiento de La Buitrera limita: al norte con el corregimiento de Villacarmelo; al oriente con el municipio de Cali comuna 17 y 18; al sur con el corregimiento de Pance y al occidente igualmente con el corregimiento de Pance

(ver Figura 6). Posee una población de 10574 habitantes² donde la mayor parte es de tipo rural. En el caso de los servicios públicos domiciliarios presenta una cobertura del 10% en acueducto, 0% en alcantarillado, 60% en electricidad, 30% en recolección de basuras y tan solo un 10% en servicio de telefonía (CVC, 2001). La ausencia del servicio de alcantarillado significa que todas las aguas residuales de sus habitantes son descargadas al río Lili, lo que convierte a esta fuente hídrica en un recurso de mala calidad, no apta para el consumo humano, que incluso emana malos olores que incomodan a la personas que habitan a su alrededor. Sumado a esto, dicha zona presenta un número considerable de minas de carbón moderadamente activas, lo que genera que el río Lili tenga altos niveles de hierro (caparrosa).

Figura 6. Localización del corregimiento La Buitrera a nivel de municipio



Fuente: Elaboración propia

² Gerencia de Desarrollo Territorial, Alcaldía de Cali. Censo Zona Rural. 1999

El proyecto se desarrolló en 5 fases que se muestran en la siguiente tabla y posteriormente serán descritas:

Tabla 11. Fases de la metodología

Fase 1. Recopilación de datos
Reunión con la DAR* del SUROCCIDENTE para establecer la zona de estudio.
Obtención de información secundaria previa.
Uso de sistemas de información geográfica.
Identificación de usos del suelo en la zona.
Ubicación de la fuente hídrica cercana a los usos de suelo de estudio.
Fase 2. Verificación de la información
Visitas de campo.
Delimitación física de las zonas de muestreo.
Fase 3. Caracterización de suelo
Toma de muestras disturbadas y no disturbadas.
Análisis de propiedades físicas e hidrodinámicas de las muestras
Fase 4. Caracterización de muestras de agua
Análisis en laboratorio
Fase 5. Análisis de resultados
Análisis estadístico
Elaboración de cartografía digital

*División Ambiental Regional (DAR)

Fuente: Elaboración propia

6.1 FASE 1. RECOPIACIÓN DE DATOS

Comprendió la recopilación de información secundaria a partir de los estudios previos de la región como Plan de Ordenamiento Territorial (POT), sistemas de información geográfica disponibles, como la nueva herramienta de la CVC GeoCVC que permitió la consulta y el análisis de información cartográfica entre otros medios disponibles en entidades ambientales del municipio de Cali como el DAGMA, IDEAM, etc.; para identificar los usos de suelo en dicha zona, así como identificar la fuente hídrica cercana a dichos usos y así determinar la ubicación de las zonas de muestreo.

6.2 FASE 2. VERIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN CAMPO

Se realizaron tres visitas de campo para identificar la veracidad de la información recopilada, lo que permitió también su actualización y validación; además de tener un contacto directo con la comunidad, lo que permitió un mejor y mayor acercamiento a la realidad de la zona, fue evidente la inseguridad, la gran influencia de la actividad minera sobre los habitantes de La Buitrera, que incluso es mayor que la actividad agrícola, son muy pocas las personas que destinan sus terrenos para cultivar y lo hacen en zonas de pendientes muy altas, en terrenos inestables sin ningún tipo de sistema que proteja el suelo y sus cultivos. Dada la situación, fue difícil encontrar una finca que tuviera uso agrícola en la parte alta de la cuenca y que además estuviera cercana al río Lili; así mismo fue restringido el acceso a la Casa Granja propiedad del Club Campestre a la cual pudimos acceder sólo una vez, después fue denegado el permiso.

Finalmente después de hacer el recorrido, se identificaron los usos de suelos más representativos del corregimiento La Buitrera de la microcuenca del Río Lili y que además estuvieran cercanos a dicho río para poder tener un estimativo del aporte de suelo a esta fuente hídrica. En esta fase, también se delimitaron físicamente las zonas de muestreo de suelo y agua. Dichos usos fueron: 1.

Bosque, 2. Uso agrícola uno, que constaba de cultivos de plátano, café y yuca
3. Minería, 4. Guadua, 5. Uso agrícola dos, que tenía cultivos de pasto de corte
o pasto elefante.

6.3 FASE 3. CARACTERIZACIÓN DE SUELO

Se hizo un recorrido por la microcuenca del Río Lili siguiendo el curso del río donde se identificaron seis coberturas diferentes asociadas a los usos de suelo anteriormente mencionados, donde a su vez se tomaron tres puntos al azar para hacer tres submuestreos. Dichas muestras se tomaron entre cero y diez centímetros (0-10 cm) de profundidad y se dispusieron en bolsas ziploc debidamente selladas y marcadas para que no se perdiera la humedad y la estabilidad estructural del suelo.

La primera zona de estudio denominada Bosque (*ver figura 7*), se encuentra en un lugar conocido como chorrera del Lili o La cascada a unos 1100 msnm, aunque es una zona de bosque se evidencia intervención del hombre sobre su vegetación.

Figura 7. Chorrera del Río Lili



Fuente: Elaboración propia

La segunda zona es la agrícola uno, finca destinada a cultivos de pan coger como yuca, plátano y café (ver figura 9) presenta un suelo altamente inestable y una elevada pendiente sin ningún tipo de sistema de protección para el suelo, como se observa en la figura 8 se encuentra aproximadamente a un kilómetro de la cascada.

Figura 8. Entrada a la finca con uso agrícola uno



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Cultivos de la finca



Fuente: Elaboración propia

La tercera zona fue la de minería muy cerca a la estación de policía de La Buitrera, que evidencia deterioro en la vegetación y el suelo, un alto nivel de rocosidad lo que dificultó el proceso de muestreo con barreno en la zona (ver *figura 10*).

Figura 10. Zona de minería



Fuente: Elaboración propia

La cuarta zona fue la de guadua ubicada a unos veinte metros de distancia de la tienda de Don Hernando, esta zona presenta alto nivel de vegetación y el suelo permanece cubierto de ojarasca (ver *figura 11*).

Figura 11. Zona con guadua



Fuente: Elaboración propia

Finalmente la última o quinta zona es denominada agrícola dos que consta de pasto elefante, ubicado en la casa Granja propiedad del Club campestre, en dicho cultivo se evidencia alta intervención de maquinaria agrícola pesada.

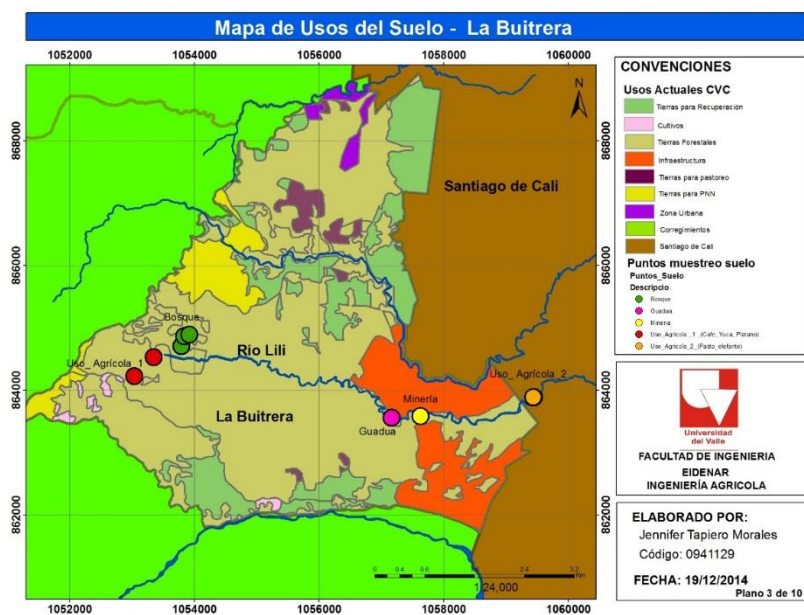
Figura 12. Zona con pasto elefante



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra espacialmente la ubicación de cada uso de suelo seleccionado como zona de estudio en La Buitrera y a su vez se contrastan con los usos actuales reportados por la CVC.

Figura 13. Mapa de usos de suelo seleccionados como zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de suelos y aguas (LASA) de la Universidad del Valle, sede Cali donde se les practicaron las siguientes pruebas:

Tabla 12. Parámetros a medir en el proyecto

Parámetros	Método	Determinaciones
Propiedades físicas - Textura - Densidad Aparente - Estabilidad Estructural	Bouyoucos Cilindro y Terrón Yoder modificado	09 09 09
Propiedades hidrodinámicas - Humedad - Porosidad Total	Gravimétrica Porosímetro y Densidades	09 09
Análisis de agua - Sólidos totales - Sólidos en suspensión - Sólidos solubles - DQO - pH - % Oxígeno Disuelto - Conductividad Eléctrica	APHA et al., 2005	09 09 09 01 01 01 01

Fuente: Elaboración propia

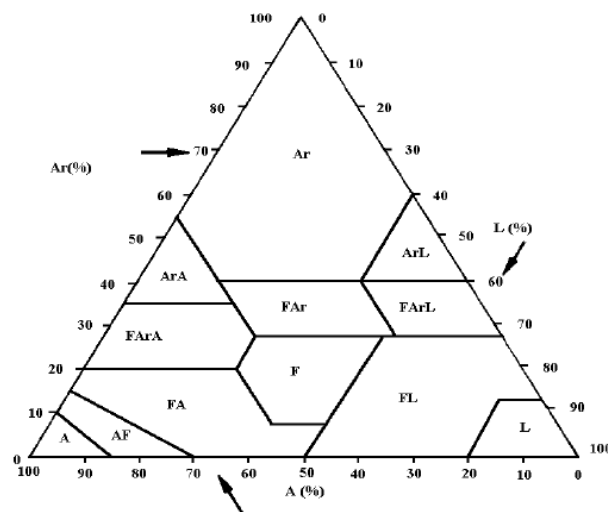
6.3.1 Análisis Físicos del suelo

Se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas para llevar a cabo las pruebas físicas de suelo en el laboratorio.

Textura

Según Valenzuela & Torrente (2013) la textura del suelo está determinada por la proporción relativa de las partículas minerales cuyos diámetros promedios de partículas son inferiores a 2 mm. La fracción sólida está constituida por: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar), representadas en el triángulo de texturas (*ver figura 14*). Ésta propiedad se obtuvo a partir del método de Bouyucos.

Figura 14. Triángulo de las clases texturales del suelo



Fuente: USDA, 1999

Densidad aparente y Humedad gravimétrica

Según USDA (1999) la densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de

las partículas y el espacio poroso entre las partículas (ver ecuación 4). Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento. Las densidades de las partículas minerales usualmente se encuentran en el rango de entre 2.5 a 2.8 g/cm³, mientras que las partículas orgánicas presentan usualmente menos que 1.0 g/cm³.

Estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo (USDA, 1999). A continuación se muestra una tabla que permite relacionar la densidad aparente con el crecimiento radicular dependiendo la textura del suelo.

Tabla 13. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, con base a la textura del suelo

TEXTURA DEL SUELO	Densidades aparentes ideales (g/cm³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm³)
Arena, areno-franco	<1.60	1.69	>1.80
Franco-arenosa, franco	<1.40	1.63	>1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco arcillosa	<1.40	1.6	>1.75
Limosa, franco-limosa	<1.30	1.6	>1.75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	<1.4	1.55	>1.65

Arcillo arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45% de arcilla)	<1.10	1.39	>1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	<1.10	1.39	>1.47

Fuente: USDA, 1999

Pero dada la restricción para la entrada a la Casa Granja propiedad del Club Campestre, zona de estudio denominada Agrícola dos, la densidad aparente se midió por el método del terrón parafinado.

La humedad gravimétrica (Hw) es el contenido de humedad del suelo en porcentaje base peso seco o gravimétrico y expresa la cantidad de agua presente en una muestra (Valenzuela & Torrente, 2013). A continuación en la tabla 14 se muestran los grados de humedad presentes en el suelo:

Tabla 14. Determinación del contenido de humedad del suelo.

GRADO DE HUMEDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD
SECO	Ninguna
BAJO	25% o menos
MEDIO	25% a 50%
ACEPTABLE	50% a 75%
EXCELENTE	75% a 100%
HÚMEDO	Sobre capacidad

Fuente: González, 2015

Densidad real

La densidad real (D_r) fue calculada por el método del picnómetro y se define como el peso de las partículas sólidas del mismo por unidad de volumen de sus sólidos. Es decir, la densidad real no contempla el espacio poroso y su valor depende de la composición mineralógica de un suelo (Jaramillo, 2002). Ésta propiedad no fue objeto de estudio en los diferentes usos de suelo, simplemente se halló en el uso agrícola dos, para calcular la porosidad total del suelo con ayuda de la densidad aparente.

Porosidad total

La porosidad total del suelo viene representada por el porcentaje de poros existentes en el mismo con relación al volumen total (Valenzuela & Torrente, 2013) y depende de la textura, la estructura y la actividad biológica del suelo. Para la zona agrícola dos éste se calculó a partir de los datos ya existentes de densidad real (D_r) y densidad aparente (D_a).

La siguiente tabla indica la clasificación del suelo según su porosidad.

Tabla 15. Clasificación de un suelo según su porcentaje de porosidad total.

POROSIDAD TOTAL (%)	CLASIFICACIÓN
> 70	Excesiva
55 - 70	Excelente
50 - 55	Satisfactoria
40 - 50	Baja
< 40	Muy Baja

Fuente: Kaurichev citado por Sanclemente, 2011

Estabilidad Estructural

La estabilidad estructural involucra el arreglo espacial de las unidades estructurales y los espacios vacíos en el conjunto suelo, o el arreglo de la fase sólida y del espacio poroso localizado entre sus partículas constituyentes (Malagón y Montenegro 1990). Se obtuvo con ayuda del método de tamizado en húmedo o Yoder, compuesto por un juego de tamices con diferentes diámetros de perforación y del cual se obtuvo el Diámetro Ponderado Medio (DPM).

6.4 FASE 4. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA

Se realizó un recorrido por el río Lili teniendo en cuenta los puntos de muestreo de suelo, para lograr coherencia entre las muestras de agua y suelo. Se identificaron 6 puntos en los cuales se tomó una muestra de agua en cada uno, para su posterior análisis en laboratorio, en el cual se midieron parámetros como: Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Volátiles (SV) y Demanda Química de Oxígeno (DQO); igualmente se determinaron parámetros en campo como: Porcentaje de Oxígeno disuelto, pH, temperatura y Conductividad Eléctrica (CE). Los registros de caudales fueron obtenidos a través de revisión de literatura.

Para la toma de la muestra de agua en el río Lili, fue necesario el uso de tarros de 2 litros y se tomaron algunas medidas cubiertos con bolsas oscuras para evitar la entrada de luz, una vez se llevaron al laboratorio inmediatamente fueron refrigerados y las pruebas se hicieron en un tiempo límite de una semana. Para realizar las siguientes pruebas gravimétricas en laboratorio se siguió la guía de procedimientos estándar: Standard Methods for Examination of water and Wastewater (APHA et al., 2005):

Sólidos Suspendidos (SS)

Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio (Berrenechea, 2004).

Sólidos Totales (ST)

Según Severiche et al., (2013) la determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en el agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación. Su determinación se basa en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 103-105°C. Para éste caso el volumen de la muestra fue de 10 ml.

Sólidos volátiles (SV)

Son aquellos que se volatilizan a una temperatura de 550°C. Si los sólidos totales se someten a combustión bajo una temperatura de 550°C durante 20 minutos, la materia orgánica se convierte a CO₂ y H₂O. Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil (García, 2013).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos. Lo deseable es que las fuentes de agua cruda no presenten una carga orgánica elevada. Por la naturaleza de estos parámetros, las normas de calidad de agua establecen

que los causantes de la contaminación orgánica deben estar ausentes en las aguas para consumo humano (Berrenechea, 2004). Ésta propiedad fue realizada por personal experto en el Laboratorio de Química de suelos de la Universidad Nacional sede Palmira. Para su cálculo fue necesario el uso de una curva de calibración (*ver anexo 1*),

6.5 FASE 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó un análisis estadístico descriptivo con ayuda del software STATA 13.0, a partir del cual se obtuvo estadísticas de resumen (media, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos) y gráficos que mejoran la interpretación de los datos, tanto para las propiedades del suelo como para las propiedades del agua, lo que permitió conocer el comportamiento de las mismas en los cinco usos de suelo seleccionados para el estudio y su potencial de erosión.

Se realizó una categorización cualitativa a partir de los datos cuantitativos obtenidos, para clasificar el grado de erosión y la calidad del agua apoyados en la literatura, y lograr determinar la influencia de los cambios en el uso del suelo sobre las propiedades de este y su efecto en la calidad del recurso hídrico de la microcuenca del río Lili.

Para lograr esta relación se realizó una clasificación cualitativa (ALTA, MEDIA y BAJA) que para el caso del suelo es con respecto a indicadores de calidad referentes a las propiedades físicas del suelo (Posada, 2010), que para su interpretación, se tiene en cuenta que mientras los resultados obtenidos estén más alejados a dichos valores mayor será el potencial de erosión en cada zona de estudio, y para el caso del agua se obtiene un índice de calidad de agua, a partir de valores cuantitativos obtenidos para cada propiedad medida (*ver anexo 4*). Una vez obtenida la clasificación cualitativa para cada uno (suelo y agua) en cada uso de suelo, se comparan y se obtiene la relación entre el grado de erosión

del suelo con la calidad del agua del río Lili en el trayecto de cada zona de estudio.

Además, a partir de las coordenadas tomadas en campo para cada uno de los puntos de estudio, se elaboraron mapas con ayuda del software ArcGIS 10.2, para algunas de las propiedades evaluadas tanto en suelos como en aguas, y así mismo se hizo una comparación entre algunas de ellas lo que permitió una mejor visualización espacial del comportamiento de cada una de las propiedades y de la problemática en la zona de estudio.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 PROPIEDADES FÍSICAS E HIDRODINÁMICAS DE LOS SUELOS BAJO DIFERENTES USOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las diferentes propiedades físicas e hidrodinámicas medidas en cada uso de suelo.

Tabla 16. Variables de suelo medidas en la microcuenca del Río Lili

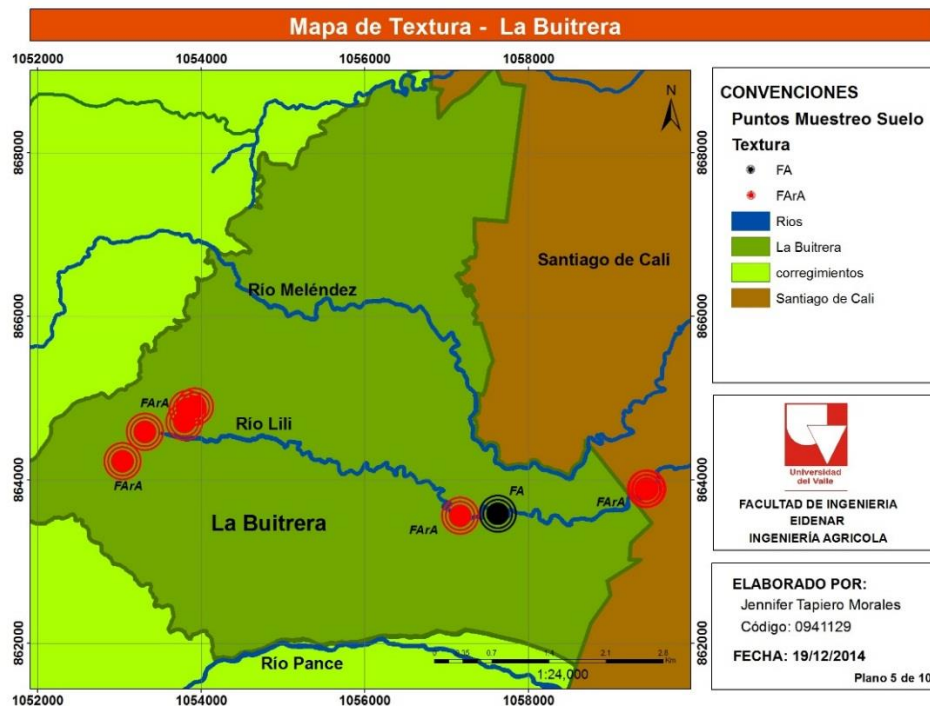
USOS DE SUELO	PROPIEDADES DEL SUELO				TEXTURA	COORDENADAS
	Da (g/cm ³)	Hw (%)	PT (%)	DPM (mm)		
BOSQUE	1.13	33	63.87	0.24	FArA*	N 03° 37' 00,8" W 76° 59' 54,3"
	1.07	37	65.37	0.18		
	1.11	32	62.36	0.33		
AGRÍCOLA 1	0.97	20	83.48	0.17	FArA	N 03° 36' 92,6" W 76° 59' 47,5"
	1.15	30	66.33	0.12		
	1.09	28	66	0.19		
MINERÍA	1.43	32	58.43	0.23	FA**	N 03° 21' 44,7" W 76° 33' 32,3"
	1.36	25	57.72	0.16		
	1.34	27	54.67	0.28		
GUADUA	1.09	35	71.46	0.27	FArA	N 03° 21' 43,9" W 76° 33' 47,4"
	1.12	27	62.15	0.27		
	1.12	27	64.42	0.2		
AGRÍCOLA 2	1.51	59	41.89	0.14	FArA	N 03° 21' 54,5" W 76° 32' 33,8"
	1.37	64	39.04	0.14		
	1.38	61	34.38	0.17		

* Franco Arcillo Arenosa, ** Franco Arenosa

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 13, la textura presentó dos comportamientos en los diferentes usos de suelo, el primero fue Franco Arcillo Arenoso (FArA) presente en los usos BOSQUE , AGRÍCOLA 1, GUADUA y AGRÍCOLA 2 y el segundo Franco Arenoso (FA) que se presentó en el uso de MINERÍA. Según Escalone (2007) los suelos FArA, son suelos de textura moderadamente fina, considerados suelos FRANCO; por lo tanto son suelos que poseen mejor equilibrio entre poros grandes y pequeños; son razonablemente fértiles, se trabajan con facilidad; y contienen agua y aire en las proporciones adecuadas, esto en condiciones normales y sin alteraciones secundarias (Williams, 2003). Mientras los suelos FA según Escalone (2007), son suelos de textura moderadamente gruesa y son considerados suelos FRANCO ARENOSOS, dada su clasificación de textura gruesa es posible que presente características como: buena aireación, almacenamiento de poca agua, infiltración rápida del agua, pocos nutrientes, baja capacidad para almacenar nutrientes y poca “inercia térmica”; es decir, que se enfrían o calientan rápidamente (Williams, 2003).

Figura 15. Mapa de textura para las zonas de estudio



Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis descriptivo por cada uso para las demás propiedades del suelo: Densidad aparente (D_a), Humedad gravimétrica (H_w), Porosidad Total (PT) y Diámetro Ponderado Medio (DPM), para contextualizar las características de cada una de ellas con el objetivo de encontrar posibles diferencias.

En la tabla 17 se presenta un resumen de las medidas estadísticas del uso de suelo BOSQUE, en el que se observa que las variables presentan variaciones poco marcadas con respecto a la media; a pesar que la humedad gravimétrica presenta mayor desviación dentro del grupo de variables, dicha desviación no es tan significativa con respecto a la media.

Según la USDA (1999) el uso de suelo BOSQUE presenta un valor de densidad aparente ideal teniendo en cuenta que ésta zona presenta una textura franco arcillo arenosa, pues está por debajo de 1.4 g/cm^3 (ver *tabla 13*), para el caso de la humedad gravimétrica presenta un valor medio según Gonzáles, 2015. La porosidad total es excelente ya que está por encima de 55% sin superar el 70% que indica porosidad excesiva (ver *tabla 15*) en el caso de la humedad gravimétrica presenta un contenido medio según Kaurichev citado por Sanclemente, (2011), por su parte el DPM (0.25 mm) indica una mala estructuración según Olarte (1979).

Tabla 17. Estadísticos descriptivos para el bosque

BOSQUE				
Variable	Media	Des. Estándar	Mín	Máx
Densidad Aparente (g/cm^3)	1.10	0.03	1.07	1.13
Humedad Gravimétrica (%)	34.00	2.65	32.00	37.00
Porosidad Total (%)	63.87	1.51	62.36	65.37
Diámetro Ponderado Medio (mm)	0.25	0.08	0.18	0.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se presenta un resumen estadístico del uso de suelo AGRÍCOLA 1, evidenciando una humedad gravimétrica media (26%), para el caso de la porosidad total se presenta un amplio rango entre el valor máximo y mínimo, por lo que mientras el valor mínimo indica una excelente porosidad el máximo indica una porosidad excesiva (*ver tabla 15*). Se presenta una densidad aparente ideal ya que los valores obtenidos son inferiores a 1.4 g/cm^3 y la textura es Franco Arcillo Arenosa (FArA). El DPM indica un valor crítico, pues según Olarte et al., (1979) los agregados menores 0.25 mm no contribuyen a la aireación del suelo por lo que su contenido debe ser bajo para que haya un buen suministro de oxígeno a las raíces.

Tabla 18. Estadísticos descriptivos del suelo para Agrícola 1

AGRÍCOLA 1				
Variable	Media	Des. Estándar	Mín	Máx
Densidad Aparente (g/cm^3)	1.07	0.09	0.97	1.15
Humedad Gravimétrica (%)	26.19	5.01	20.48	29.87
Porosidad Total (%)	71.94	10.00	66.00	83.48
Diámetro Ponderado Medio (mm)	0.16	0.03	0.12	0.19

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al uso de suelo MINERÍA (*ver tabla 19*) se observa semejanza con la media de la variable humedad gravimétrica con el suelo AGRÍCOLA 1. Este suelo no presentó variaciones marcadas, la porosidad total presentó un porcentaje menor a diferencia de los usos anteriores, esto puede ser consecuencia de un aumento en el valor de la densidad aparente, pues Lowery et al., (1995), establecieron una relación inversa entre el incremento de la densidad aparente y la reducción de la porosidad y la materia orgánica.

Sin embargo, el valor de densidad aparente es aceptable pues no impide el crecimiento radicular de las plantas

Tabla 19. Estadísticos descriptivos del suelo para minería

MINERÍA				
Variable	Media	Des. Estándar	Mín	Máx
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.38	0.05	1.34	1.43
Humedad Gravimétrica (%)	27.72	3.43	25.00	31.58
Porosidad Total (%)	56.94	1.99	54.67	58.43
Diámetro Ponderado Medio (mm)	0.22	0.06	0.16	0.28

Fuente: Elaboración propia

El uso de suelo GUADUA presenta promedios parecidos con los demás suelos, su densidad aparente es ideal con respecto a la textura, presenta una humedad gravimétrica media según González (2015), una porosidad total excelente según la clasificación de Kaurichev citado por Sanclemente (2011.)

Tabla 20. Estadísticos descriptivos del suelo para guadua

GUADUA				
Variable	Media	Des. Estándar	Mín	Máx
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.11	0.02	1.09	1.12
Humedad Gravimétrica (%)	29.43	4.94	26.58	35.14
Porosidad Total (%)	66.01	4.85	62.15	71.46
Diámetro Ponderado Medio (mm)	0.25	0.04	0.20	0.27

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21 se presenta las estadísticas con respecto al uso de suelo AGRÍCOLA 2, en donde se observa que la media de la Humedad Gravimétrica es mayor con respecto al uso del suelo GUADUA. Este uso de suelo presenta

diferencias notorias con el resto de los usos de suelo. En el caso de la densidad aparente ya no presenta un valor ideal ($< 1.4 \text{ g/cm}^3$) según el tipo de textura que para este caso es FArA, aunque su valor no es tan crítico como para afectar el crecimiento de las raíces, es importante prestarle atención pues según Arshad et al. (1996), ésta es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo y puede ser alterada por cultivación; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y clima, por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia y como se pudo ver en campo, en el lugar se evidencia labores con tractores, lo que podría llegar a generar compactación del suelo si no se toman medidas a tiempo, pues ya se evidencia una mala estructuración con una media del DPM de 0.15 mm. Dicha situación se ve igualmente reflejada en un valor medio de porosidad total muy baja según Kaurichev citado por Sanclemente (2011), sin embargo presenta una humedad gravimétrica aceptable (ver *tabla 14*).

Tabla 21. Estadísticos descriptivos del suelo para Agrícola 2

AGRCOLA 2				
Variable	Media	Des. Estandar	Mín	Máx
Densidad Aparente (g/cm^3)	1.42	0.08	1.37	1.51
Humedad Gravimétrica (%)	61.32	2.60	58.73	63.93
Porosidad Total (%)	38.44	3.79	34.38	41.89
Diámetro Ponderado Medio (mm)	0.15	0.01	0.14	0.17

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se indican los coeficientes de variación (CV) para cada uso de suelo, con el fin de evaluar qué distribución de datos es la más homogénea teniendo en cuenta que, según el DANE (2005) para que los datos tengan una precisión aceptable el CV debe ser inferior al 15%. De la tabla 23 se observa que en el uso de suelo BOSQUE, la única variable que presentó un CV alto; es el DPM, lo que indica que los datos obtenidos son heterogéneos o muy diferentes entre ellos. Igualmente se presenta en los usos de suelo AGRÍCOLA 1 y MINERÍA, con la diferencia que en AGRÍCOLA 1 se presenta heterogeneidad en

la porosidad total también. Para el caso del uso de suelo GUADUA se presenta heterogeneidad en la PT (CV=16.78%) y en el DPM (CV=17.13%). Por su parte el uso AGRÍCOLA 2, presenta homogeneidad en todos los datos obtenidos para cada variable, por lo que sus datos son más precisos y dan mayor certeza de los resultados obtenidos en ellos.

Es posible que los datos de AGRÍCOLA 2 hayan presentado mayor homogeneidad, debido a que en éste uso de suelo se presentan condiciones controladas, como labores agrícolas mecanizadas.

Tabla 22. Coeficientes de variación para cada uso de suelo

Usos de Suelo	Coeficiente de Variación (%)			
	DA	PT	HW	DPM
BOSQUE	2.77	7.78	2.36	30.20
AGRICOLA 1	8.71	19.13	13.90	21.32
MINERIA	3.50	12.39	3.50	25.67
GUADUA	1.40	16.78	7.35	17.13
AGRICOLA 2	5.50	4.24	9.86	9.97

Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de observar diferencias en el comportamiento de las propiedades físicas entre los usos de suelo, se describe gráficamente cada variable mediante diagramas de cajas.

Con respecto a la Densidad Aparente se observa que los usos de suelo MINERÍA y AGRÍCOLA 2 presentaron semejanzas en las mediciones, esto puede ser ocasionado por la intervención de maquinaria que se observó en campo para los dos usos de suelo, por el contrario BOSQUE, GUADUA Y AGRICOLA 1 estuvieron por debajo de las anteriores. AGRÍCOLA 1 presenta una caja más grande que las demás por lo que se considera que presentó mediciones más dispersas.

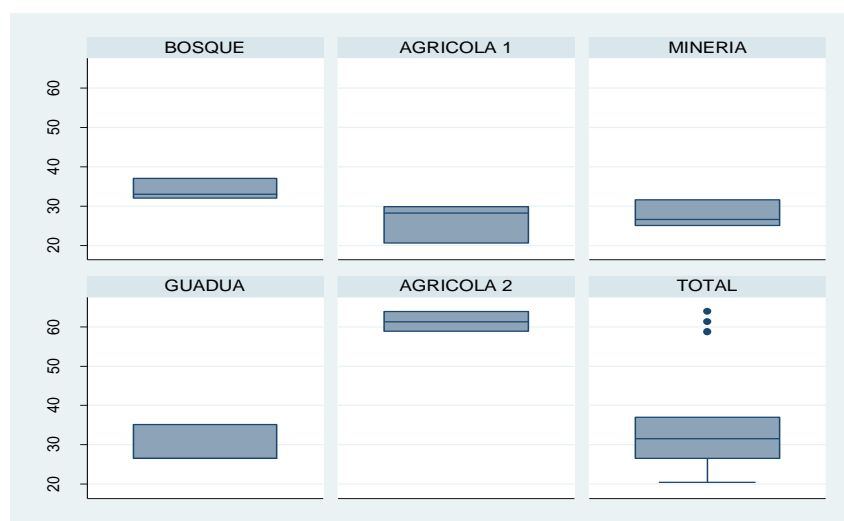
Diagrama 1. Diagramas de cajas para la variable Densidad Aparente (g/cm³) según uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a Humedad Gravimétrica se observa que AGRICOLA 2 presentó mediciones más altas con respecto a los demás. Sin embargo, como se puede ver en el tamaño de las cajas, que son relativamente delgadas, no es una variable que presente alta dispersión en sus medidas para cada zona de estudio.

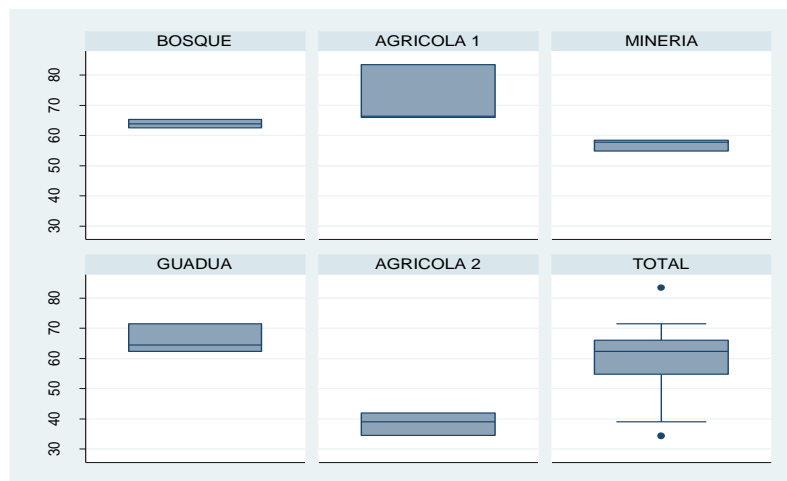
Diagrama 2. Diagramas de cajas para la variable Humedad Gravimétrica (%) según uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

La porosidad total presentó diferencias entre los usos de suelo, se observa que AGRICOLA 2 presentó las mediciones más bajas seguido de minería hecho que se relaciona con el comportamiento que tuvo la variable densidad aparente, pues en dicho caso los valores fueron los más altos, según Kaurichev citado por Sanclemente (2011) los valores de porosidad por debajo del 40% son considerados bajos, ya que el flujo de gases y agua por los espacios porosos se vuelve deficiente e inadecuado para la vida del suelo. Para el caso de AGRICOLA 1 se presentó una alta variación, BOSQUE Y MINERIA tuvieron semejanzas y poca variación.

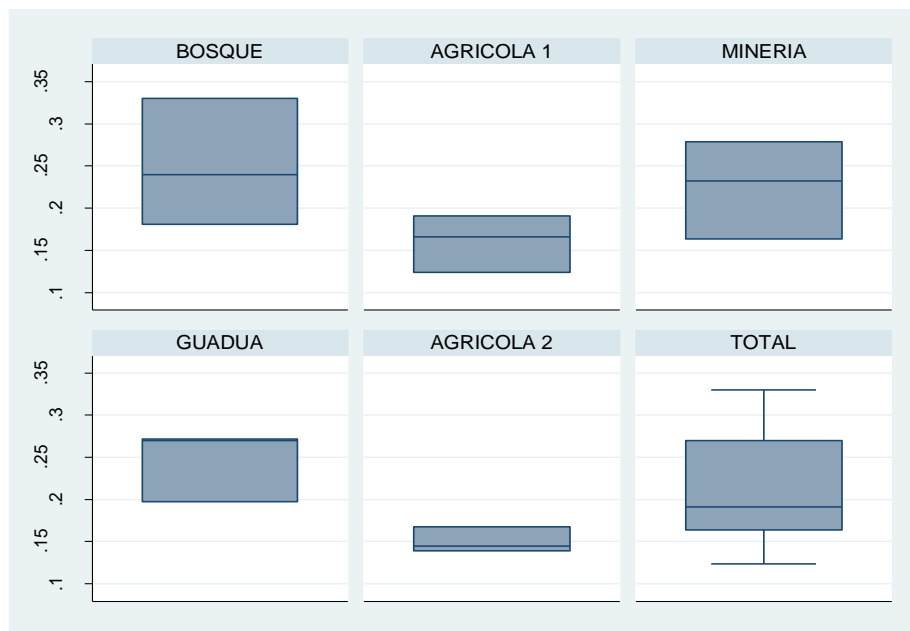
Diagrama 3. Diagramas de cajas para la variable Porosidad Total (%) según uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

Por último se observa que el Diámetro Ponderado Medio fue la variable más dispersa entre los usos de suelos. Sin embargo AGRICOLA 2 fue el suelo menos disperso y con mediciones más bajas con respecto a los demás suelos, esto puede ser consecuencia de que el suelo es preparado con maquinaria agrícola, lo que permite que el tamaño de los agregados sea más homogéneo y de menor tamaño en la zona del cultivo de pasto elefante.

Diagrama 4. Diagramas de cajas para la variable Diámetro Ponderado Medio (mm) según uso de suelo



Fuente: Elaboración Propia

7.2 ANÁLISIS FÍSICO DE CALIDAD DE AGUA

En la tabla 23 se resumen las variables de agua medidas en el río Lili, relacionadas a los diferentes usos de suelos con sus respectivas coordenadas:

Tabla 23. Variables de agua medidas para el río Lili

ORIGEN DE MUESTRA	PRUEBA								COORDENADAS
	S.S. (mg/L)	S.T. (mg/L)	S.V. (mg/L)	DQO (mg/l)	pH	T (°C)	C.E (ds/m)	% O	
BOSQUE	49	90	0.06	43.10	7.25	19.1	0.21	59.9	N 03° 37' 00,8" W 76° 59' 54,3"
	51	180	0.05						
	51	240	0.07						
AGRICOLA 1	52	150	0.11	25.50	7.3	19.4	0.21	71.3	N 03° 36' 92,6" W 76° 59' 47,5"
	51	190	0.09						
	36	140	0.05						
GUADUA	64	1310	0.45	290.20	6	24.1	0.61	67.2	N 03° 21' 44,7" W 76° 33' 32,3"
	88	1560	0.63						
	65	1510	0.39						
MINERÍA	8	430	0.16	54.90	6.2	23.5	0.53	42.3	N 03° 21' 43,9" W 76° 33' 47,4"
	43	570	0.26						
	53	600	0.25						
AGRICOLA 2	49	110	0.11	94.20	5.9	24	0.65	82.1	N 03° 21' 54,5" W 76° 32' 33,8"
	44	260	0.07						
	40	280	0.10						

Fuente: Elaboración propia

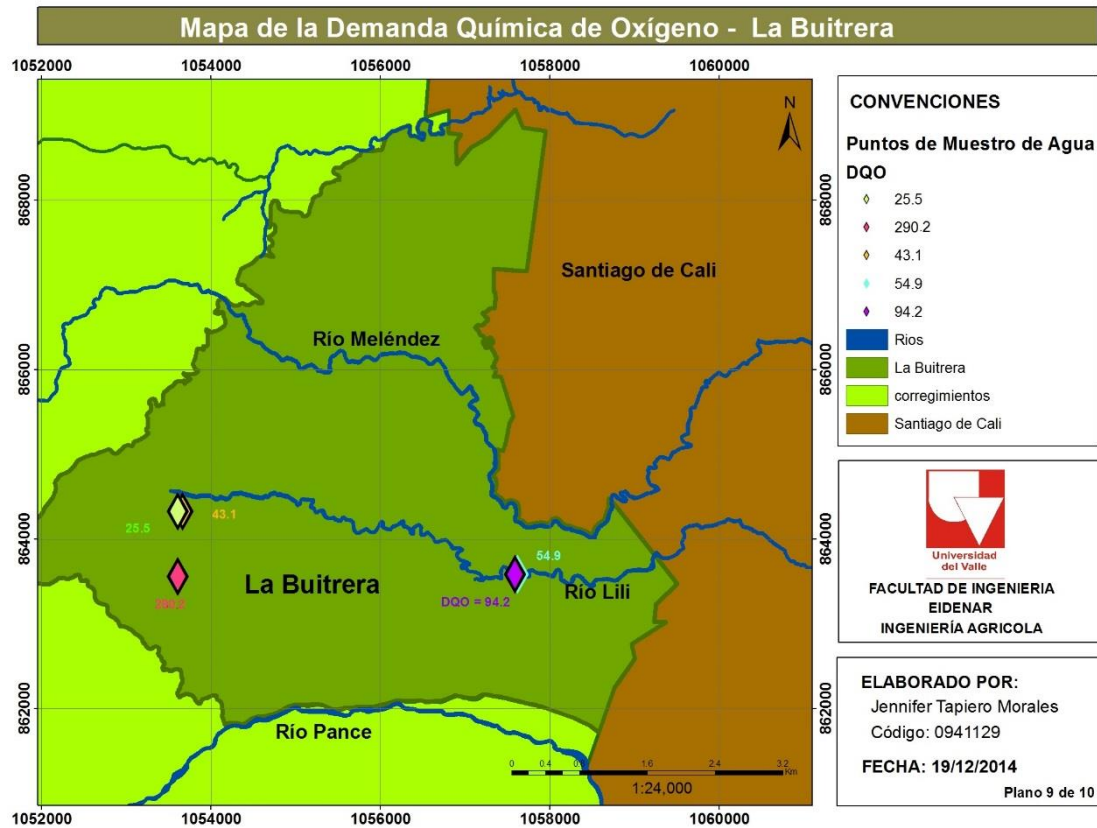
De la Tabla 23 se puede observar que los valores de conductividad eléctrica (CE) aumentan conforme aumenta la temperatura. Sus valores se mueven en el rango de 0.21 – 0.66 ds/m, lo que significa según Ayers & Wescot citado por García (2012) que no presenta ningún grado de restricción en su uso para riego,

igualmente sucede con el pH a excepción de la muestra de agua tomada en el uso de suelo AGRÍCOLA 2 que no se encuentra en el rango normal de 6.5 a 8.4 (ver anexo 2). Sin embargo, (Ayers & Wescot citado por García, 2012) aseguran que el agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy baja, especialmente cuando es menor de 0.2 dS/m, ya que es corrosiva y tiende a lavar la superficie dejándola libre de minerales solubles y sales, especialmente de Ca reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora sobre los agregados y sobre la estructura del suelo, facilitando su dispersión y la oclusión de los poros más finos. Por lo tanto es preciso, prestar atención a dicho valor en los sectores de BOSQUE y AGRÍCOLA 1.

Respecto al porcentaje de oxígeno disuelto (%O) se observa que las zonas con mejores concentraciones son la AGRÍCOLA 1 y 2, ya que se encuentran por encima del 70% (CINARA, 2006) condiciones aeróbicas que permiten la supervivencia de la vida acuática y favorecen la prevención de olores; por el contrario las zonas restantes presentan bajas concentraciones donde según Berrenechea (2004) niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación.

Otra variable medida para evaluar la calidad del agua en el Río Lili fue la Demanda Química de Oxígeno, que a continuación se ilustra espacialmente los para cada zona de estudio en La Buitrera:

Figura 16. Mapa de Demanda Química



Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la figura 15, los usos con mayor DQO son minería y guadua, sin embargo para EEC citado por Franke et al., (2013) el máximo valor permitido de DQO como parámetro de calidad de agua es de 30 mg/L, por lo tanto la única muestra que se encuentra dentro del rango aceptable es la tomada en el BOSQUE, sin embargo, se encuentra muy próxima. Por lo cual las muestras de agua tomadas en las zonas de estudio restantes, dan indicios de alta presencia de materia orgánica, pues la DQO es entendida como la cantidad de oxígeno que necesita dicha materia orgánica, para descomponerse sin la intervención de microorganismos.

En el caso de los sólidos volátiles se observan valores muy variables para los usos de suelo, siendo el más alto el de MINERÍA con un promedio de 490 al igual que su desviación estándar de 124.9, seguido GUADUA; caso contrario con el BOSQUE que fue el de menor medida. El coeficiente de variación evidencia que los usos de suelo presentaron variabilidades muy marcadas entre las mediciones obtenidas. Según Dávila (2009) valores superiores a los 200 mg/L se consideran de alta concentración, situación que se observa en GUADUA y más crítica en MINERÍA con medias de (223 mg/L) y (490 mg/L), respectivamente, considerados en términos de materia orgánica.

Tabla 24. Medidas de resumen para los sólidos volátiles

Usos de Suelo	Sólidos Volátiles (mg/L)				
	Media	Des Esta	Mín	Máx	Coef Var (%)
BOSQUE	60.0	10.0	50	70	16.7
AGRICOLA 1	83.3	30.6	50	110	36.7
MINERIA	490.0	124.9	390	630	25.5
GUADUA	223.3	55.1	160	260	24.7
AGRICOLA 2	93.3	20.8	70	110	22.3

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los Sólidos Totales se observa que la muestra para el uso de suelo MINERIA presentó el mayor promedio, con un mínimo de 1310 mg/L y un máximo 1560 mg/L lo que ocasionó una desviación muy marcada con respecto a la media, según el Decreto 475 de 1998 (*ver anexo 3*) un agua segura es aquella que presenta un valor de sólidos totales < 1000 mg/L, por lo tanto se observa que dicha muestra presenta un valor crítico, dadas las descargas directas y lixiviaciones generadas por la actividad minera. Seguida se encuentra la muestra de agua tomada para el uso de suelo GUADUA con un promedio de 533.3 mg/L, este mantiene menor variabilidad en las mediciones; según el DANE

(2005) se consideran homogéneas las mediciones que presenten un coeficiente de variación $\leq 15\%$, con respecto al BOSQUE hubo una variabilidad mucho más marcada, sin embargo según la literatura no presenta un valor alarmante.

Tabla 25. Medidas de resumen para los Sólidos Totales

Usos de suelo	Sólidos Totales (mg/L)				
	Media	Des Esta	Mín	Máx	Coef Var(%)
BOSQUE	170.0	75.5	90	240	44.4
AGRICOLA 1	160.0	26.5	140	190	16.5
MINERIA	1460.0	132.3	1310	1560	9.1
GUADUA	533.3	90.7	430	600	17.0
AGRICOLA 2	216.7	92.9	110	280	42.9

Fuente: Elaboración propia

La última variable medida en este estudio fue la de sólidos suspendidos. Se observa que esta variable fue la menos variable con respecto a sólidos totales y sólidos volátiles, ya que los coeficientes de variación se presentaron con menor medida, aunque para el uso del suelo GUADUA presentó una medida muy marcada del 68,2%. Comparando los usos de suelo se evidencia que MINERIA presentó el mayor promedio seguido del BOSQUE, sin embargo; no se presentan valores alarmantes para ésta variable, pues de acuerdo a Ramírez y Viña (1998) el valor límite de SS es de 150 mg/L, que al ser sobrepasado se consideraría un cuerpo de agua contaminado, situación que no ocurre para ninguna de las zonas evaluadas.

Tabla 26. Medidas de resumen para los Sólidos Suspendidos

Usos de Suelo	Sólidos Suspendidos (mg/L)				
	Media	Desv. Esta	Mín	Máx	Coef Var (%)
BOSQUE	50.3	1.2	49	51	2.3
AGRICOLA 1	46.3	9.0	36	52	19.3
MINERIA	72.3	13.6	64	88	18.8
GUADUA	34.7	23.6	8	53	68.2
AGRICOLA 2	44.3	4.5	40	49	10.2

Fuente: Elaboración propia

Del análisis anterior se puede evidenciar que la zona de estudio con la menor calidad de agua es la de MINERÍA, pues en dicha zona es evidente la presencia de rocas en el suelo, lo que favorece la lixiviación de contaminantes generados por dicha actividad, teniendo en cuenta que es una de las mayores actividades de sustento para la población de la zona, incluso mayor que la de agricultura, pues las pocas áreas que se observaron cultivadas son de cultivos de pancoger.

7.3 RELACIÓN DEL GRADO DE ALTERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES USOS CON LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LILI

Desde el punto de vista de las condiciones del suelo, una baja densidad aparente, alta infiltración, alta porosidad, textura franca, baja resistencia a la penetración, buena profundidad efectiva para el desarrollo de las raíces, y agregación granular; son condiciones ideales de calidad.

Posada (2010) agrupa algunas propiedades clave del suelo, como las mecánicas, hidrológicas, térmicas, biológicas y químicas; con miras a definir su calidad. La tabla 29, ilustra la interacción de las propiedades del suelo como atributos de calidad.

Tabla 27. Algunos indicadores de calidad del suelo, según sus propiedades y algunas variables de medición.

Propiedad	Variable	Indicador de Calidad
Mecánica	Textura	Texturas francas, es especial Franco arcillosa
	Estructura	Estructura granular
	Porosidad	Alta porosidad (por encima de 50%)
	Retención de Humedad	Alta retención de humedad, evitando encharcamientos
	Drenaje	Buen drenaje (alta tasa de infiltración)
Térmica	Color	Color oscuro
	Conductividad Térmica	Alta conductividad y distribución del calor latente
Biológica	Contenido de Materia orgánica	Alto contenido (por encima del 5%)
	Macroorganismos	Diversidad, en especial de: lombrices, termitas y hormigas
	Microorganismos	Diversidad de organismos (hongos, bacterias y actinomicetos)
	Reserva de nutrientes	Presencia de residuos frescos (hojarasca y heces fecales)
	Microorganismos fitopatógenos	Baja o nula presencia
Química	pH	Neutro (entre 6.6 y 7.3)
	Acidez	Baja acidez y bajos contenidos de Al intercambiable

	Alcalinidad	Baja acidez y bajos contenidos de Na intercambiable
	Elementos metálicos pesados	Muy bajos o nulo
	CIC	Alta capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Posada, 2010

A partir de indicadores encontrados en la literatura, se tienen valores que dan indicios del estado de las propiedades físicas, sin embargo, es importante resaltar que según el coeficiente de variación evaluado en el análisis estadístico, nos indica una alta desconfianza en los valores obtenidos en cada una de las propiedades medidas en ésta investigación, pues muchos de estos presentaron valores superiores al 15%.

A pesar que no se encontró una estrecha relación entre la alteración de las propiedades físicas del suelo con respecto a la calidad del agua de la zona, éste estudio nos permite conocer el estado físico del suelo y de la fuente hídrica de la zona lo que hace de éste estudio una fuente de indicadores, para tomar decisiones que conlleven a su manejo sostenible e integrado.

De acuerdo a los valores ideales encontrados en la literatura para las variables medidas en cada uso de suelo, se obtuvo un estado de calidad con el cual a continuación se clasifica de manera cualitativa la calidad del suelo y del agua tomando tres categorías: Alta, media y baja.

Tabla 28. Clasificación de la calidad del suelo y del agua para las zonas de estudio

ZONA DE ESTUDIO	CALIDAD DEL SUELO	CALIDAD DEL AGUA
BOSQUE	MEDIA	MEDIA
AGRÍCOLA 1	BAJA	ALTA
MINERÍA	BAJA	BAJA
GUADUA	MEDIA	MEDIA
AGRÍCOLA 2	BAJA	MEDIA

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los datos arrojados por la investigación se puede observar que la alteración en las propiedades físicas no presenta una influencia marcada en la calidad del agua, por lo que se puede recomendar en una futura investigación medir también las propiedades químicas tanto del suelo como del agua.

Los suelos son un componente importante de la cuenca que se deben proteger para lograr la sostenibilidad ambiental en la misma. En la zona de la microcuenca del Río Lili se ha generado un deterioro ambiental, asociado principalmente a prácticas de uso de la tierra, ausencia de técnicas para controlar la erosión, pérdida de la cobertura vegetal, deforestación y características de las tierras.

En el uso de las tierras agrícolas de la parte media alta de la cuenca, la pendiente, profundidad efectiva del suelo, erosión y calidad del agua son parámetros determinantes. Las pendientes fuertemente onduladas son una de las limitantes de uso más preponderante de la microcuenca. Sumado a lo anterior, los suelos son moderadamente profundos, poco profundos y superficiales.

En el área de estudio se presentan precipitaciones de alta intensidad, que sumado a las fuertes pendientes, la falta de cobertura vegetal de suelo, texturas arcillosas, caminos mal diseñados, favorecen las escorrentías superficiales y se convierten disparadores para el transporte de sedimentos y de elementos químicos presentes en el suelo hasta los cauces naturales existentes dentro de la microcuenca. El grado de erosión moderada a severa y muy severa ha alcanzado un 78% de las tierras de la subcuenca. La capacidad de uso de la tierra mostró que únicamente el 1% de las tierras son de vocación agrícola intensiva clases III; el 63% tiene vocación para cultivos permanentes clases IV y VI; el 26% de las tierras son de vocación forestal, y solo el 2% es de vocación ganadera.

Adicionalmente, según Thurow (1991) la erosión hídrica tiene una relación con la precipitación media anual. Cuando la misma supera los 1000 mm y existe una

cobertura completa, ésta protege efectivamente al suelo del impacto de las gotas de lluvia. Sin embargo, cuando la cobertura es removida parcial o totalmente, la erosión hídrica aumenta en relación directa a la magnitud de la precipitación.

Teniendo en cuenta el régimen de lluvias presente en la microcuenca (ver Tabla 3), se puede evidenciar que las zonas de estudio, son propensas a la erosión hídrica dado que las actividades realizadas en los mismos, ocasionan remoción de la cobertura vegetal, además se presentan pendientes muy altas en el rango de 20%-60% lo que acelera el proceso de erosión.

Por lo tanto, el manejo de la microcuenca debe tener como base fundamental la protección de las zonas ecológicas existentes como reservas forestales, la protección de sitios de captación y las fuentes de agua; reordenación del uso del suelo para aquellas actividades cuyo uso forestal, agrícola y minero tenga mayor vocación con asistencia técnica y por último la recuperación de áreas inestables, con problemas de erosión y reforestación de áreas aledañas al río Lili.

8 CONCLUSIONES

- En este estudio se demostró que en la microcuenca del Río Lili, la alteración de las propiedades físicas del suelo bajo diferentes usos, no afecta directamente la calidad del recurso hídrico.
- Se obtuvieron dos clases texturales, franco arcillo arenosa presente en los usos de suelo bosque, agrícola 1, guadua y agrícola 2 y franco arenosa en el uso de suelo minería.
- Los suelos evaluados presentaron valores de densidad aparente ideales respecto a las texturas; es decir, menores a 1.4 g/cm^3 .
- Se determinó que todos los usos de suelo evaluados, presentan mala estructuración por lo que es muy probable que los agregados no estén contribuyendo a la aireación del suelo y que además sean propensos a deslizamientos.
- Se evidencia amenaza en la parte alta de la microcuenca por deslizamientos, fallas geológicas y altas precipitaciones. Para el caso de la parte media y baja se ve amenazada por la intervención del hombre a través de asentamientos y actividad minera que descargan sus desechos al río, generando una alta carga de contaminación sobre él.
- Las zonas de estudio evaluadas a excepción de BOSQUE presentan valores por fuera del rango máximo permitido de DQO como parámetro de calidad de agua, lo que indica presencia de contaminación orgánica en el río Lili.
- En general las zonas evaluadas presentan concentraciones de sólidos aceptables, sin embargo no se debe olvidar que los suelos presentaron mala

estructuración, y que sumado a las altas pendientes y precipitaciones se puede ocasionar un mayor arrastre de sólidos si no se toman medidas de prevención.

- La conductividad eléctrica y el porcentaje de oxígeno disuelto arrojaron valores a los que se les debe prestar atención, pues de no hacerlo se puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos, dadas las bajas concentraciones de sales y además se podría disminuir la presencia de vida acuática en el río Lili por falta de oxígeno.
- Dadas las acciones sobre la microcuenca, es posible que en un futuro cercano el río Lili comience a manifestar los efectos de la contaminación difusa, siendo la actividad minera y agrícola, las dos actividades de presión excesiva, que lo convierta en desagües de aguas residuales en épocas de baja precipitación y de aguas en crecientes que arrastran el suelo y afectan la urbanización por las inundaciones.
- Las consecuencias generadas en la cuenca requieren de medidas efectivas de restauración, pues la comunidad de la buitrera esta en alto riesgo debido a la “extinción de la cuenca” sin poder abastecerse de las aguas del río lo que ha llevado a declarar la emergencia sanitaria.
- El estudio permitió conocer el estado físico de los recursos agua y suelo, que nos invita a tomar conciencia que el manejo y conservación de estos, debe ser abordado de manera integrada.

9 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio que evalúe el impacto ambiental generado por el uso del suelo, tomando en cuenta las propiedades físico químicas del suelo y el agua considerando los aspectos socioeconómicos de la zona.
- Para futuros estudios realizados en análisis de aguas es necesario tener mayores cuidados de preservación y transporte para evitar posibles errores de confusión en los datos, dado que las muestras de aguas son muy sensibles.
- Es importante para quienes deseen continuar con el estudio, realizarlo en época de invierno y de verano para lograr una comparación en el tiempo y espacio.
- Desarrollar proyectos a nivel educativo en la microcuenca, que involucren a la comunidad y permitan abordar y mitigar la problemática ambiental a través de un manejo integral.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Abrego. 2009. Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) Municipio de ABREGO. 2001-2009
- Almorox, J., Lopez, F., Rafaelli, S. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación. Murcia. Universidad de Murcia. pp. 45-46.
- Ángel, J. E., Arboleda, G., Barney Caldas, B., Delgado, L. G., Sánchez, L., Vásquez, E. 2008. Agua en la vida de Cali. Editores Patiño. Colombia. 224 p.
- Arias, M. J. A., Santiago, P. A. L., Villavicencio, G. R. F., Toledo, G. S. L., Fregoso, F. J. L. y Moreno, M. L. 2008. Análisis preliminar del potencial hidrológico por tipo de cobertura en la microcuenca del Río Salado, Bosque La Primavera. En: Carvajal S. y Pimienta B. E. Eds. 2007. Avances en la investigación científica en el CUCBA. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. pp. 30-33.
- American Public Health Association – APHA - 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. APHA-AWWA-WEF. Washington DC, 2-1 a 2-3.
- Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Asociación de Usuarios de Aguas del Río Desbaratado – ASODES. 1999. Congreso Colombiano de cuencas hidrográficas y desarrollo sostenible. Memorias. Noviembre 4 y 5 de 1998. Cali, Colombia. 191 p.

- Ayres, Q. .1960. La erosión del suelo y su control. Ediciones omega, S.A. Barcelona. p. 35-48.
- Buitrago, O. 2013. Planificación de Cuencas Hidrográficas. Algunos principios básicos. Caso de la Cuenca del Río Cali. Entorno Geográfico (4). pp. 125-142.
- Berrenechea, A. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I. Capítulo I. Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua. Lima: CEPIS/OPS. 55 p.
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J., Schiavo, H. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. CI. Suelo (Argentina) 25(2): pp. 173-178.
- Carvajal, Y., Cantera, J., Castro, L. 2009. Caudal Ambiental: Conceptos, Experiencias y Desafíos. Programa editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali. pp. 30-44.
- Carvajal, M & Calle, Z. 2012. Cómo vivir en las montañas sin agotar el suelo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. pp. 15-19, 24-27.
- Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso - CINARA. 2006. Marcos legales e institucionales en Colombia y su impacto sobre MUS. p. 21 – 22
- Clérico, C. & García, F. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del río de la Plata. AGROCIENCIA (Revista científica de la FA-UDELAR) Montevideo, Uruguay. No.1. Vol. V. pp. 92 -103.

- Collazos, J., Esguerra, A., García, F., Gómez, J., González, F., Gutiérrez, M., Lozano, M., Ospina, O., Ramírez, L., Urrea, M. 2010. Microcuencas de los ríos Lili y Cañaveralejo. Seminario en educación Ambiental III. Santiago de Cali. 67 p.
- Conesa, C. & Martinez, J. 2004. Territorio y medio ambiente: métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica. Universidad de Murcia. pp. 140-141.
- Contraloría General de la República. 2011. Estado de los recursos naturales y del ambiente 2010 – 2011. Capítulo IV. La calidad del agua para consumo humano en Colombia. ISSN 1794-5356. pp. 175 – 255.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. 2001. Sistema de Información geográfica de la unidad de manejo cuenca Cali – Melendez – Pance – Aguacatal. Publicación de la Subdirección de Planeación, Grupo de Cartografía. Santiago de Cali.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. 2007. Balance Oferta – Demanda de agua superficial. Cuenca del río Lili. 9 p.
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA. 1999. Cuencas hidrográficas en Santiago de Cali.
- Dávila, M. N. 2009. Validación de los métodos DBO, DBO5 y sólidos suspendidos totales en el análisis de aguas residuales para el laboratorio de aguas y alimentos de la Universidad tecnológica de Pereira. Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. Tecnología química. Pereira. 63 p.
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA. 2012. Informe de caracterización de aguas e índice de calidad de agua: De

los ríos Aguacatal, Cali, Cañaveralejo, Lili, Meléndez y Pance. Informe Técnico Laboratorio Ambiental DAGMA. OT-005-2012 (Marzo-Mayo). Cali, Valle. 62 p-

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE - 2005. Estimación e interpretación del coeficiente de variación de la encuesta cocensal. Censo general. Colombia. 7 p.
- Diario Oficial. 2002. Decreto No. 1729 de 2002. Santafé de Bogotá Diario. Año CXXXVIII. N. 44893, 7 de Agosto. 104p.
- Escalone, M. 2007. Propiedades Físico-Químicas de los suelos. Capítulo 10. Instituto de Agrimensura. Uruguay. 43 p.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FEDERACAFÉ. 1975. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Manual de conservación de suelos de ladera. 1ª edición. Chinchiná, Colombia. 267 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO.1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. pp.1-5.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. 2007. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Roma. 50p.
- Franke, N. A., Boyacioglu, H., Hoekstra. 2013. Grey water footprint accounting. Tier 1 Supporting guidelines. Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCO-IHE, Delft. The Netherlands. 64 p.
- García, L. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro Honduras.

Turrialba- Costa Rica. Recuperado de
<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a0144e/a0144e.pdf>

- García, M. 2013. Protocolo para la determinación de sólidos fijos y volátiles a 550°C. Universidad de la Guajira. 8 p.
- Gerencia de Desarrollo Territorial, Alcaldía de Cali. 1999. Censo Zona Rural.
- González, C. A. 2015. Relación Agua Suelo Planta Atmósfera R.A.S.P.A. Unidad 2. Contenido de humedad del agua en el suelo. Universidad Nacional. 8 p. Consultado el 4 de Abril, 2015, desde:
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/raspa/und_2/pdf/und2.pdf
- Gonzalez, L. 2005. Factores que influyen en la extinción de la microcuenca del río Lili, Cali, Valle, Colombia. Observatorio Ambiental No. 2 ISSN: 1794-5135. Vol: 2. p.p 108-117.
- González de Matauco, A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la A.G.E. Nº 38. p.p 311-329.
- Huss, D. 1993. Papel del ganado doméstico en el control de la desertificación: Influencia del pastoreo y la vegetación en los rendimientos del agua y en la erosión. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO. Santiago, Chile.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM -2013. Calidad de agua de los ríos de Santiago de Cali en su cuenca urbana. Fundación agua y paz. Santiago de Cali. 8 p.
- Jaramillo, D, F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 54p.

- Jiménez, Y., Martínez, C., Mancera, J. 2010. Características físicas y químicas del suelo en diferentes sistemas de uso y manejo en el centro agropecuario Cotové. Suelos ecuatoriales 40 (2):176-188
- Khon Kaen University - KKU. 1995. Study project for preparation of the action plan for the Phong River Water Quality Rehabilitation, Khon Kaen Province.
- Kirchmer, C. J. Aspectos físicos-químicos en el control del tratamiento de aguas residuales.
- Londoño, A. 2015. Línea de profundización I: Ambiental. Capítulo 3. Conceptos básicos de análisis cuantitativo. Universidad Nacional a Distancia sede Manizales. Manizales, Caldas. Consultado 4 de Abril, 2015, desde: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/html/contenido.html>
- Londoño, C. 2001. Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales- Caracterización-Planificación-Administración. Universidad del Tolima. Ibagué.
- López, F. 2002. Erosión y desertificación, heridas de la tierra. Nivola libros y ediciones, S, L. España. pp 45-52, 64-65, 117.
- Lowery, B., Swan, J., Schumacher, T., Jones, A. 1995. Physical properties of selected soil by erosion class. J. Soil and Water Cons. 50(3): 306-311.
- Malagón, C., D. & montenegro, G., H. 1990. Propiedades Físicas de los Suelos. IGAC. Bogotá.97
- Posada, S. 2010. Módulo: Manejo y Conservación de suelos – primera parte. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. 64 p.

- Olarte, R.L. 1979. Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos. 4ª Edición. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 639 - 642p.
- Oleaga, A., Pirelli, H., Rodríguez, L., Vidal, L. 2008. Cambios en el uso de la tierra. Capítulo 2. GEO Uruguay. pp. 59-71.
- Ormaza, C. 2011. Desinfección solar en el agua del rio Tomebamba. Monografía. Ingeniería Civil. Universidad de Cuenca. Ecuador. 61 p.
- Posada, S. 2010. Modulo: Manejo y Conservación de suelos – primera parte. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. 64p.
- Ramírez, A. & Viña, G. 1998. Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo lozano. Bogotá. 293 p.
- Rivera, J. H. & Sinisterra, J. A. 2006. Uso Social de la bioingeniería para el control de la erosión severa. Restauración Ecológica Aplicada a la Prevención de desastres. CVC. CIPAV. Cali, Colombia. 110 p.
- Rodríguez, O. S. 1999. Conservación de suelos y aguas en la zona Andina: hacia un concepto integral. Capítulo 4. Efecto de las Barreras Vivas y de las coberturas en la Conservación de los Suelos en diferentes Sistemas de Producción Agrícola. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Publicación CIAT: No. 309. ISBN 958-694-007-1. Cali, Colombia. p. 62 – 75.
- Romero, J. A. 1996. Acuíquímica. Primera edición. Editorial: Escuela Colombiana de Ingeniería. P. 43 -45.
- Romero, A. & Belmonte, F. 2008. Erosión en forestaciones aterrazadas en medios semiáridos: región de Murcia. Universidad de Murcia, Servicio de

publicaciones: Academia. Murcia. p. 146. Consultado el 4 de Mayo, 2014, desde:

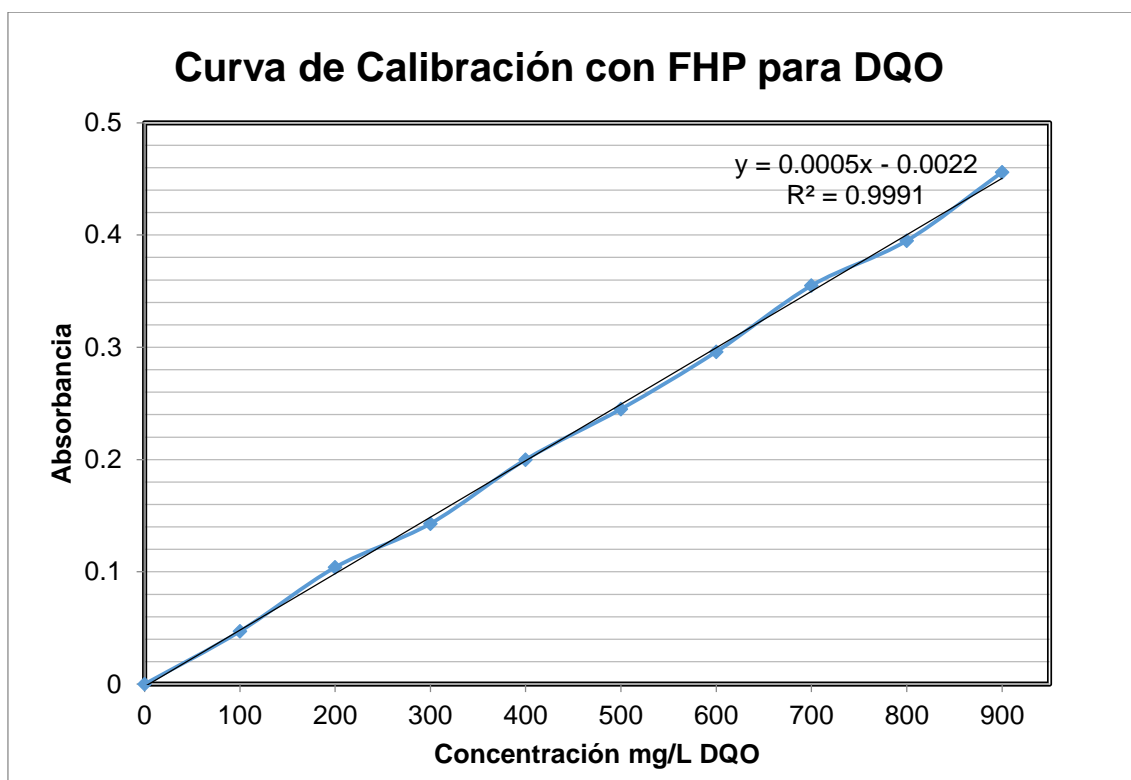
<http://books.google.com.co/books?id=qel8xYRxa8C&pg=PA6&dq=romero+y+belmonte+2008+murcia&hl=es&sa=X&ei=LvmgUfHoDYO-8ASLioBY&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=romero%20y%20belmonte%202008%20murcia&f=false>.

- Sanclemente, O. E. 2011. Propiedades y Contaminación del suelo. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Escuela de ciencias Agrícolas, Pecuarias y el Medio Ambiente. Palmira, Valle del Cauca. 129 p.
- Severiche, C., Castillo, M., Acevedo, R. 2013. Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Fundación universitaria Andaluza Inca Garcilaso. Cartagena. Colombia.
- Sharma, A. & Tiwari, K. 2010. Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed. Environ Monit Assess 173:789–801.
- Sheng, T.C. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Volúmenes 13-16 de la Guía FAO. p. 3.
- Soil Survey Division Staff - SSDS. 1999. Soil survey manual. Handbook No. 18. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D. C. 437 p.
- Sthiannopkao, S; Takizawa, S; Homewong, J; Wirojanagud, W. 2007. Soil erosion and its impacts on water treatment in the northeastern provinces of Thailand. Environment International 33. p. 706-711.
- Strahler, A., 1952. Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America 63: 1117-1142.

- Thurow, D. L. 1991. Hydrology and erosion. In: Grazing management an ecological perspective. Ed By Radney K. Heitschmidt, and Jerry W. Stuth. p. 141-159.
- Umaña, E. 2002. Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. p.p. 14 – 16.
- Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria – UMATA, Alcaldía de Santiago de Cali y Secretaría de Desarrollo Territorial y Bienestar Social. 2005. Mapa social: Corregimiento La Buitrera. Santiago de Cali. 125 p.
- Universidad Nacional de Medellín – UNALMED. Consultado el enero 9 de 2014, desde:
<http://www.redaguas.unalmed.edu.co/default.php?link=recursos&sub=suelo&item=degradacion>.
- United States Department of Agriculture – USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Instituto de calidad de suelos. EE. UU. 88 p.
- Valenzuela, I. G. & Torrente, A. 2013. Ciencia del suelo: Principios básicos. 2ª edición. Capítulo III. Física de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia de Suelo. ISBN:978-958-8589-06-2. Bogotá. p. 139-207
- Visión Mundial, 2004. Manual de manejo de cuencas. San Salvador.
- Williams, P. 2003. Manejo sustentable del suelo. Parte I. Cartilla de divulgación No. 2. Proyecto FAO – TCP/ARG-2802 (A). Buenos Aires, Argentina. 8 p.

ANEXOS

Anexo 1. Curva de calibración con Ftalato de Potasio para hallar la Demanda Química de Oxígeno.



Anexo 2. Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego (1)

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción en el uso		
		Ninguno	Ligero o Moderado	Severo
Salinidad ⁽²⁾				
CEa	dS m ⁻¹	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TSD	mg l ⁻¹	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración ⁽³⁾				
RAS = 0 - 3 y CEa		> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos				
Sodio (Na⁺) ⁽⁴⁾				
Riego superficial	RAS	< 3.0	3.1 - 9.0	> 9.0
Riego por aspersión	cmol(+) l ⁻¹	< 3.0	> 3.0	
Cloruros (Cl⁻) ⁽⁵⁾				
Riego superficial	cmol(+) l ⁻¹	< 4.0	4.0 - 10	> 10
Riego por aspersión	cmol(+) l ⁻¹	< 3.0	> 3.0	
Boro (B) ⁽⁶⁾	mg l ⁻¹	< 0.7	0.7 - 0.3	> 3.0
Elementos traza (ver tabla 11)				
Nitratos (N-NO ₃ ⁻) ⁽⁷⁾	mg l ⁻¹	< 5	5.0 - 30	> 30
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mg l ⁻¹	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Rango Normal 6.5 - 8.4		

¹ Adaptación hecha por Ayers y Westcot (1985).

² La salinidad afecta la disponibilidad de agua para las plantas. La CEa se reporta en términos de decisiememes por metro a 25 °C (dS m⁻¹) o en milimhos por centímetro (mmho cm⁻¹). Ambas medidas son equivalentes siendo la primera la unidad adoptada por el Sistema Internacional de Unidades. TSD equivale a total de sólidos en solución y se expresa en mg l⁻¹.

³ Se refiere al efecto del agua de riego sobre las propiedades hídricas de los suelos causando disminución en la velocidad de infiltración del agua. Se evalúa considerando la CEa y la relación de adsorción de sodio simultáneamente. Esto hace referencia al efecto flocculante de las sales y al efecto dispersivo del sodio. A un valor de RAS dado, la velocidad de infiltración incrementa a medida que la salinidad del agua aumenta.

⁴ El Na tiene un efecto tóxico sobre muchas especies, además de su capacidad para deteriorar las propiedades físicas de los suelos.

⁷ N-NO₃ se refiere al nitrógeno nítrico reportado en términos de N elemental.

Fuente: García, 2012

Anexo 3. Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano

Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano					
		Decreto 475 de 1998 Valor admisible (mg/l)		Resolución 2115 de 2007	
Características	Expresadas como	Agua potable	Agua segura	Agua para consumo humano	
Criterios organolépticos y físicos (Art. 7, 36)	Color Verdadero	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	< 15	<25	15 (a)
	Olor y sabor	-	Aceptable	Aceptable	Aceptable
	Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)	< 5	< 5	2
	Sólidos Totales	mg/L	< 500	< 1.000	
	Conductividad	microohms/cm	50 – 1.000	< 1.500	< 1.000
	Sustancias Flotantes	-	Ausentes	Aceptable	
(Art. 8, 38) con implicaciones económicas	Aluminio	Al	0,2	2	0,2 (b)
	Antimonio	Sb	0,005	0,02	0,02
	Arsénico	As	0,01	0,05	0,01
	Bario	Ba	0,5	1	0,7
	Boro	B	0,3	1	
	Cadmio	Cd	0,003	0,005	0,003
	Cianuro libre y disociable	CN-	0,05	0,1	0,05
	Cianuro total	CN-	0,1	0,2	
	Cloroformo	CHCl3	0,03	0,7	
	Cobre	Cu	1	2	1,0
	Cromo Hexavalente	Cr+6	0,01	0,025	0,05 (c)
	Fenoles totales	Fenol	0,001	0,01	
	Mercurio	Hg	0,001	0,002	0,001
	Molibdeno	Mo	0,07	0,2	0,07
	Níquel	Ni	0,02	0,1	0,02
	Nitritos	NO2	0,1	1,0	0,1
	Nitratos	NO3	10	10	10
	Plata	Ag	0,01	0,05	
	Plomo	Pb	0,01	0,02	0,01
	Selenio	Se	0,01	0,015	0,01

Fuente: Contraloría General de la República, 2011

Anexo 4. Resumen del estado de la calidad del suelo y del agua según los valores permitidos.

VARIABLE	USO DE SUELO				
	BOSQUE	AGRÍCOLA 1	MINERÍA	GUADUA	AGRÍCOLA 2
Da	√	√	√	√	√
PT	√	x	√	√	x
H	±	±	±	±	±
DPM	x	x	x	x	x
CALIDAD DE SUELO	±	x	x	±	x
Ph	√	√	√	√	x
%O	±	√	±	x	√
DQO	x	x	x	x	x
CE	±	±	√	√	√
ST	√	√	x	√	√
SS	√	√	√	√	√
SV	√	√	x	x	√
CALIDAD DE AGUA	±	√	x	±	±

√: Alta, ±: Media, x: Baja

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Los valores máximos permisibles para los parámetros adicionales de calidad del agua

Water quality parameter	Maximum allowable value
Total suspended solids (mg/l)	25
Chemical oxygen demand (COD) (mg/l O ₂)	30
Dissolved oxygen saturation rate (% O ₂)	70
Biochemical oxygen demand (BOD 5) (mg/l O ₂)	3
Temperature (°C)	22

Fuente: EEC citado por Franke et al., 2013